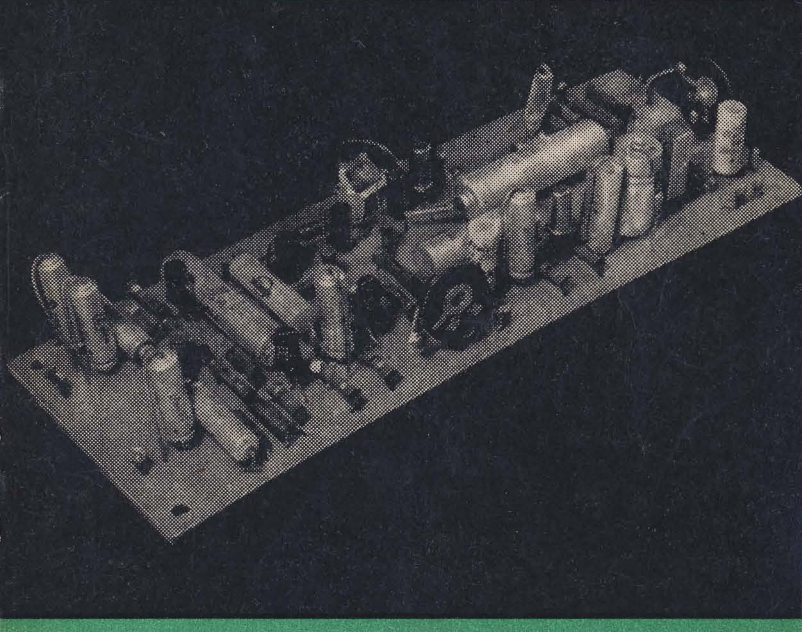
amateurreihe

electronica



Karl-Heinz Schubert

Praktisches Radiobasteln

Teil II

KARL-HEINZ SCHUBERT

Praktisches Radiobasteln II

Funktechnische Bauelemente und Konstruktionstechnik



DEUTSCHER MILITÄRVERLAG

Redaktionsschluß: 15. Februar 1969

Band 85

Praktisches Radiobasteln I (Handwerkliche Grundlagen)

Band 87

Praktisches Radiobasteln III (Bauanleitungen und Schaltungsvorschläge)

Die 3 Broschüren sind in der Reihe *Der praktische Funkamateur* als Band 8, 9 und 16 erschienen.

31.—45. Tausend, 4., verbesserte Auflage

Deutscher Militärverlag · Berlin 1969

Lizenz-Nr. 5

Lektor: Wolfgang Stammler

Zeichnungen: Hildegard Seidler, Erich Böhm

Typografie: Helmut Herrmann

Korrektor: Rita Abraham

Hersteller: Werner Briege

Gesamtherstellung: Druckerei Märkische Volksstimme Potsdam
A 230

1,90 M

Inhalt

1. Funktechnische Bauelemente

Für den Aufbau funktechnischer Geräte werden eine Vielzahl spezieller Bauelemente benötigt. So vor allem Widerstände, Kondensatoren, Spulen, Elektronenröhren, Transformatoren u. a. m. Über die Verwendung der modernen Miniaturröhren erschien vom gleichen Verfasser in der Reihe *Der praktische Funkamateur* (jetzt *electronica)* bereits eine Broschüre (Band 13, *Miniaturröhren und ihre Schaltungstechnik*), so daß eine Behandlung der Elektronenröhre nicht mehr notwendig ist. Da eine Beschreibung aller funktechnischen Bauelemente den Rahmen dieser Broschüre überschreiten würde, sollen anschließend nur die wichtigsten behandelt werden.

1.1. Widerstände

Ebenso wie der Kondensator hat der Widerstand in der Funktechnik weitgehend Anwendung als Bauelement gefunden. Im elektrotechnischen Sinn wird dabei das Wort „Widerstand“ in zweierlei Hinsicht angewendet. Einmal versteht man unter einem Widerstand in der Elektrotechnik das Verhältnis der elektrischen Spannung zum elektrischen Strom, zum anderen bezeichnet man mit diesem Wort ein Bauelement mit bestimmten Widerstandseigenschaften. Die Grundeinheit des Widerstandes ist das **Ohm** (Ω). Vielfache der Einheit Ohm werden wie folgt bezeichnet:

1 Kiloohm = 1 kΩ = $10^3\,\Omega$
1 Megaohm = 1 MΩ = $10^6\,\Omega$
1 Gigaohm = 1 GΩ = $10^9\,\Omega$
1 Teraohm = 1 TΩ = $10^{12}\,\Omega$

Bei den Widerständen werden verschiedene Bauformen unterschieden: Drahtwiderstand, Schichtwiderstand und Massewiderstand (Bild 1).

Drahtwiderstände werden vor allem bei höheren Belastungen

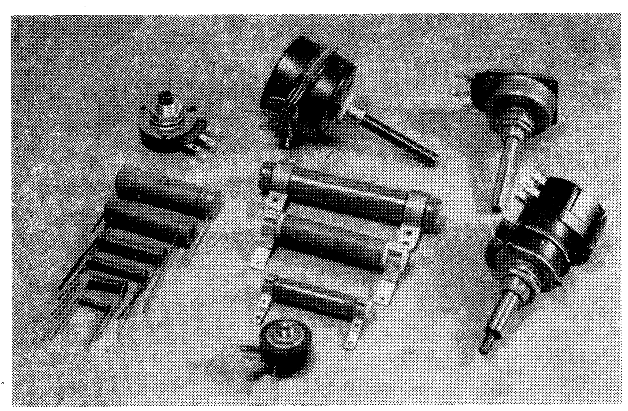


Bild 1 Verschiedene Ausführungsformen von Widerständen; Schichtwiderstände 1/10 W bis 4 W (links) und Drahtwiderstände für höhere Belastungen (Mitte). Verschiedene Schichtpotentiometer (oben), ein Doppelpotentiometer mit angebautem Schalter (rechts unten) und ein Entbrummer (Mitte unten)

eingesetzt. Ein drahtförmiger Leiter mit hohem spezifischem Widerstand bildet ihren Widerstandswert, der Widerstandsdraht (Nickelin, Konstantan usw.) ist dabei auf ein Porzellanrohr gewickelt. Die Widerstandsdrahtenden sind an die beiden Metallschellen angelötet, die an den Enden des Porzellanrohres sitzen. Drahtwiderstände werden bis ungefähr 50 kΩ und einer Belastung bis zu etwa 50 W hergestellt. Zur Aufteilung des Widerstandswertes haben Drahtwiderstände oft auch Abgriffschellen.

Schichtwiderstände bestehen aus einem stabförmigen Keramikkörper, auf den eine kristalline Glanzkohleschicht aufgebrannt wird. Den gewünschten Widerstandswert erhält man durch das Einschleifen einer entsprechend breiten Wendel. Es entsteht dann ein bandförmiger Kohleschichtstreifen. Schichtwiderstände werden bis ungefähr 10 MΩ und Belastungen bis etwa 6 W hergestellt.

Massewiderstände bestehen aus einem Gemisch von leitendem Material und isolierenden Werkstoffen. Sie werden meist in Stabform mit rundem Querschnitt hergestellt. Genau wie bei

den Schichtwiderständen befinden sich an den Enden aufgepreßte Metallkappen mit den Anschlußdrähten. In der Funktechnik werden diese Widerstände als Arbeits-, Vor-, Dämpfungs- oder Siebwiderstände verwendet.

Für bestimmte Aufgaben benötigt man regelbare Widerstände, z. B. für Lautstärkeregelung, Tonhöhenregelung usw. Solche regelbaren Widerstände werden auch als Potentiometer bezeichnet. Durch eine Drehbewegung ändert man den Widerstandswert kontinuierlich. Auf der Achse sitzt zu diesem Zweck isoliert ein Schleifer, der auf der Widerstandsschicht aufliegt. Ein normales Potentiometer hat 3 Anschlüsse: Anfang der Widerstandsschicht, Ende der Widerstandsschicht und Schleifer. Verläuft die Änderung des Widerstandswertes linear mit dem Drehwinkel, so spricht man von einem Potentiometer mit linearer Kennlinie. Nichtlineare Kennlinien bei Potentiometern weisen meist einen logarithmischen Verlauf auf. Vielfach ist das Potentiometer auch mit einem Schalter gekoppelt. Dabei ist zu unterscheiden zwischen Schaltern, die durch eine Drehbewegung der Achse oder eine Zug-Druck-Bewegung ausgelöst werden. Für größere Belastungen gibt es Potentiometer mit einer Widerstandsdrahtwicklung.

Eine besondere Art des Massewiderstandes ist der Heißleiter. Er dient bei der Serienheizung der Röhren in Allstromgeräten zum Schutz der Röhrenheizfäden gegen Überlastung beim Einschaltvorgang. Der Heißleiter hat in kaltem Zustand einen höheren Widerstandswert als in heißem Zustand. Der Sollwert der Heizstromstärke wird erst nach einer bestimmten Anheizzeit erreicht.

1.2. Kondensatoren

Der Kondensator in seinen verschiedensten Ausführungsformen (Bild 2) ist das wichtigste Bauelement für die Funktechnik. Das Dielektrikum kann aus Glimmer, Keramik, Papier, Kunststoffolie oder Luft bestehen. Glimmerkondensatoren sind durch die heutigen modernen Kondensatoren fast völlig verdrängt. Bei den Papier- oder Kunstfolienkonden-

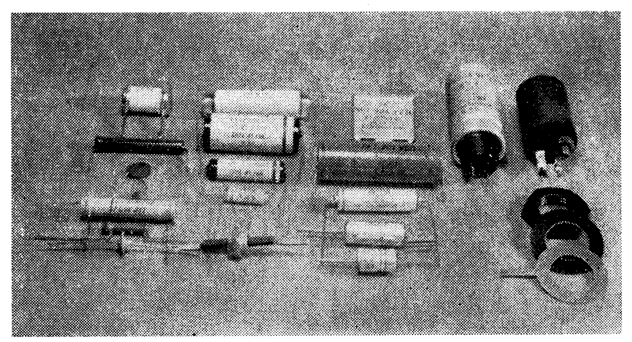


Bild 2 Verschiedene Ausführungsformen von Kondensatoren und Elektrolytkondensatoren. Links keramische HF-Kondensatoren, daneben Kunstfolienkondensatoren *(Styroflex)*, ganz unten ein keramischer Durchführungskondensator. Mitte rechts oben ein Metallpapier-Becherkondensator, darunter Niedervolt-Elektrolytkondensatoren. Rechts Hochvolt-Elektrolytkondensatoren als Aluminiumbecher mit Befestigungsmutter, Isolierscheibe und Masseanschluß sowie als Kunststoffbecher

satoren ist die Kapazität in Form eines Kondensatorwickels dargestellt. Nach seiner Fertigstellung wird der Kondensatorwickel in einem entsprechenden Rohrstück aus Hartpapier, Keramik oder Aluminium untergebracht und luftdicht verschlossen. Nur die beiden Anschlußdrähte führen an den Rohrenden heraus.

Die Grundeinheit der Kapazität ist das **Farad** (F). Da diese Einheit für den praktischen Gebrauch in der Funktechnik zu groß ist, verwendet man folgende zugeschnittene Größen:

1 Mikrofarad $= 1\ \mu\text{F} = 10^{-6}$ F

1 Nanofarad $= 1$ nF $= 10^{-9}$ F

1 Picofarad $= 1$ pF $= 10^{-12}$ F

Bei den Kunstfolienkondensatoren wird als Dielektrikum *Styroflex*-Folie verwendet. Während bei den Papier- und Kunstfolienkondensatoren kennzeichnend der zusammengerollte Kondensatorwickel ist, werden bei den keramischen Kondensatoren 2 Silberbeläge innerhalb und außerhalb des Keramikrohres aufgebracht. Die beiden Anschlußdrähte sind jeweils an den entsprechenden Kondensatorbelag angelötet.

Die keramischen Kondensatoren werden vor allem im HF-Gebiet eingesetzt. Papier- und Kunstfolienkondensatoren lassen sich in der Funktechnik vielseitig verwenden. Im HF-Gebiet kann bei nicht zu hohen Anforderungen auch der Kunstfolienkondensator benutzt werden. Eine besondere Abart des Papierkondensators ist derMetallpapierkondensator. Der Metallpapierkondensator hat nicht nur einen sehr geringen Umfang, sondern weist vor allem den Vorteil auf, daß er sich bei eventuell auftretenden Durchschlägen selbst regeneriert. Beim Metallpapierkondensator werden die beiden Metallbeläge auf das dünne Kondensatorpapier aufgedampft. Damit ein Kondensator im Betrieb nicht durchschlägt, ist vor allem auf seine Spannungsfestigkeit zu achten. Er darf keinesfalls an einer höheren als der dimensionierten Spannung betrieben werden. Die wichtigsten Spannungswerte der Kondensatoren sind: 125, 250, 500, 750 und 1000 V.
Die Gleichstromsiebung erfordert große Kapazitäten, die sich nur mit Kondensatorwickeln von größeren Ausmaßen herstellen lassen. Für dieses Anwendungsgebiet wurde deshalb der Elektrolytkondensator geschaffen. Im Unterschied zum normalen Kondensator, der 2 metallische Kondensatorbeläge hat, wird beim Elektrolytkondensator der negative Belag durch den Elektrolyten gebildet. Als Gegenbelag dient eine Aluminiumfolie, auf die durch elektrolytische Einwirkung eine Aluminiumoxidschicht aufgebracht wird. Diese Oxidschicht stellt das Dielektrikum dar. Durch eine künstliche Aufrauhung der Oberfläche des Aluminiums verkleinert sich bei gleichbleibender Kapazität das Volumen der Elektrolytkondensatoren wesentlich. Elektrolytkondensatoren werden für Betriebsspannungen von 350, 450 und 500 V als Lade- und Siebkondensatoren für Netzteile zur Glättung der Gleichspannung hergestellt. Für die Anwendung in der NF-Technik gibt es entsprechende Niedervolt-Elektrolytkondensatoren.
Für bestimmte Zwecke, z. B. für die Abstimmung von Schwingkreisen, sind Kondensatoren mit veränderbarer Kapazität erforderlich. Man unterscheidet bei derartigen Kondensatoren zwischen Trimmern und Drehkondensatoren (Bild 3). Trimmer finden Verwendung, wenn beim Abgleich

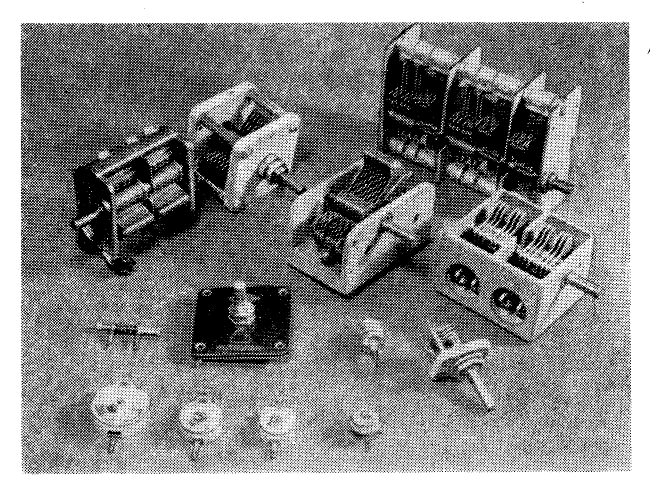


Bild 3 Verschiedene Ausführungsformen von Drehkondensatoren. Rechts oben ein kombinierter AM/FM-Drehkondensator, Mitte rechts ein 2fach-UKW-Drehkondensator, Mitte links ein 2fach-Drehkondensator in Kleinausführung. In der Mitte ein Hartpapierdrehkondensator und unten verschiedene Trimmer

eines Geräts ein Schwingkreis fest auf eine Frequenz abzustimmen ist. Muß dagegen die Frequenzabstimmung variabel sein, so benutzt man Drehkondensatoren (mit Luftdielektrikum oder mit Kunstfoliendielektrikum). Übliche Rundfunk-Drehkondensatoren mit einer Endkapazität von 500 pF werden in Eingang-, Zweigang- oder Dreigangausführung hergestellt. Mit wesentlich kleineren Kapazitäten dagegen fertigt man Drehkondensatoren für den KW- und UKW-Bereich. Drehkondensatoren mit Kunstfoliendielektrikum, allgemein als Hartpapierdrehkondensatoren bezeichnet, werden dort verwendet, wo die Güte nicht von ausschlaggebender Bedeutung ist, z. B. als Rückkopplungsdrehkondensator.

Während bei Wechselstrom die Kapazität je nach Frequenz und Kapazitätsgröße einen bestimmten Blindwiderstandswert aufweist, ist bei Gleichstrom der Widerstand nahezu unendlich groß. Der Kondensator wird daher in der praktischen Schal-

tungstechnik als Rückkopplungs- und Gegenkopplungskondensator, als Schutz- und Trennkondensator, als Sieb- und Ableitkondensator eingesetzt.

1.3. HF-Spulen

Neben dem Kondensator ist die Induktivität einer Spule Bestandteil des LC-Schwingkreises. Für die verschiedenen Frequenzbereiche wurden zahlreiche Aufbauformen von Spulen entwickelt (Bild 4). Bei Luftspulen läßt sich eine genügend große Induktivität nur mit sehr vielen Windungen erreichen. Damit steigen automatisch die Verluste durch den Widerstand des verwendeten Drahtes an. Zur Erhöhung der Induktivität wird deshalb ein Eisenkern benutzt. Im Bereich der tiefen Frequenzen, also bei Niederfrequenz, werden Transformatorbleche verwendet; bei Hochfrequenz dagegen sogenannte HF-Eisenkerne, um die Wirbelstromverluste möglichst gering zu halten. Die HF-Eisenkerne bestehen aus einem Gemisch von Pulvereisen und isolierenden Bindemitteln. Im KW- und UKW-Bereich können vorteilhaft auch Luftspulen aus versilbertem Kupferdraht verwendet werden.

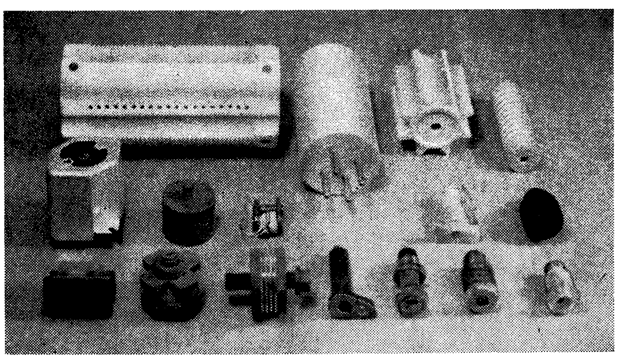


Bild 4 Keramische Spulenkörper und verschiedene HF-Eisenkernspulen. Links unten ein H-Kern, daneben Haspelkern, Rollenkern und Stiefelkern. Links Mitte eine abgeschirmte Topfkernspule, daneben Topfkern. Oben Mitte ein keramischer Spulenkörper mit Sockel für KW-Spulen

Die Grundeinheit der Induktivität ist das **Henry** (H). Da diese Einheit für den praktischen Gebrauch in der Funktechnik zu groß ist, verwendet man folgende zugeschnittene Größen:

1 Millihenry $= 1\ \text{mH} = 10^{-3}\ \text{H}$

1 Mikrohenry $= 1\ \mu\text{H} = 10^{-6}\ \text{H}$

Zu den bekanntesten HF-Eisenkernspulen zählen die Haspelkernspule, die Garnrollenspule, die Topfkernspule, die Würfelspule, die H-Kernspule und andere mehr. Dazu kommen Zylinderwicklungen, Kreuzspulwicklungen und Kammer- bzw. Scheibenwicklungen auf Isolierstoffkörpern, die mit einem Schraubkern abgestimmt werden können. Als Spulendraht wird im MW- und LW-Bereich HF-Litze, z. B. $20 \times 0{,}07$ mm Durchmesser, verwendet, im KW- und UKW-Bereich versilberter Kupferdraht.

Die Größe der Induktivität einer HF-Spule richtet sich nach dem Frequenzbereich und dem verwendeten Kapazitätswert des Kondensators, der zusammen mit der Spule den Schwingkreis bildet. Für gewöhnliche Rundfunkdrehkondensatoren können folgende Induktivitätswerte der HF-Spulen angenommen werden:

LW-Antennenspule, hochinduktiv	~ 6,5 mH
LW-Antennenspule, niederinduktiv	~ 0,3 mH
LW-Schwingkreisspule	~ 2 mH
MW-Antennenspule, hochinduktiv	~ 1,2 mH
MW-Antennenspule, niederinduktiv	~ 10 µH
MW-Schwingkreisspule	~ 0,2 mH
KW-Antennenspule	~ 1 µH
KW-Schwingkreisspule	~ 1,3 µH

Im Handel werden fertige und vorabgeglichene Spulensätze angeboten. So lieferte die Firma *Hochfrequenz-Werkstätten*, Meuselwitz (Thür.), Einkreiser- und Superhet-Spulensätze mit einem oder mehreren KW-Bereichen. Die Firma *G. Neumann*, Creuzburg (Werra), bot ähnliche Spulensätze an, allerdings in den Ausführungen mit Drehschalter oder mit Drucktasten (Bild 5). UKW-Bauteile konnten von beiden Firmen bezogen werden, ebenfalls ZF-Bandfilter und ZF-Sperrkreise (Bild 6). Für die Siebung der aus einer Wechselspannung gewonnenen Anodengleichspannung setzt man Siebdrosseln ein. Infolge des

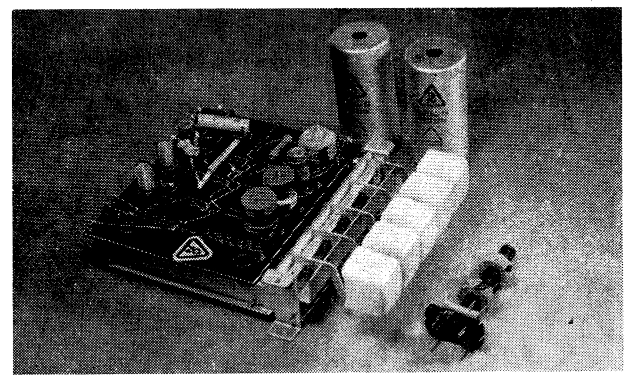


Bild 5 *Neumann*-Tastenspulensatz für einen 6-Kreis-Superhet für K-M-L-Welle, dahinter die beiden Bandfilter mit Aluminiumbecher, rechts ein offenes Bandfilter

induktiven Wechselstromwiderstandes der Siebdrossel ist die Siebwirkung eines Kondensator-Drossel-Gliedes besser als die eines Kondensator-Widerstand-Gliedes. Die Siebdrossel besteht aus einem Spulenkörper mit entsprechenden Windungen

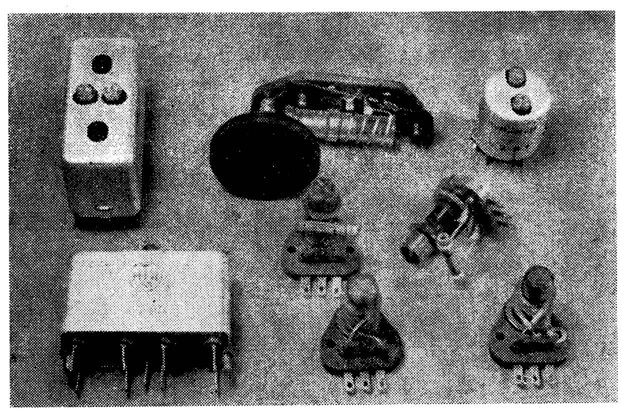


Bild 6 *Görler*-Spulensatz für einen UKW-Empfänger. Mitte oben die abstimmbare Oszillatorspule, rechts daneben ein ZF-Bandfilter für 10,7 MHz. Darunter die ZF-Sperrkreise sowie Eingangs- und Zwischenkreisspule. Links außen kombinierte ZF-Bandfilter für 468 kHz und 10,7 MHz

und einem Eisenkern mit Luftspalt. Ähnlich aufgebaut ist die Feldspule eines elektrodynamischen Lautsprechers, die im Luftspalt ein kräftiges Magnetfeld für die Schwingspule erzeugt. Bei Verwendung von elektrodynamischen Lautsprechern wird die Feldspule oft als Siebdrossel im Netzteil verwendet; allerdings muß gewährleistet sein, daß der zur Erzeugung des benötigten Magnetfeldes erforderliche Gleichstrom die Feldspule durchfließt.

1.4. Transformatoren

Transformatoren werden für verschiedene Zwecke in der Funktechnik eingesetzt, z. B. als Netztransformator, NF-Übertrager oder Ausgangsübertrager (Bild 7). Der Transformator hat auf einem Eisenkern ohne Luftspalt 2 oder mehrere Wicklungen zur Transformierung einer Wechselspannung nach höheren oder niederen Spannungswerten. Im Netzteil wird der Netztransformator verwendet, um die Wechselspannung des Versorgungsnetzes von meist 220 V, 50 Hz auf den Wert der Heizspannung und der Anodenspannung zu transformieren; die Anodenspannung muß allerdings gleichgerichtet werden. Handelsüblich sind eine Anzahl von Netz-

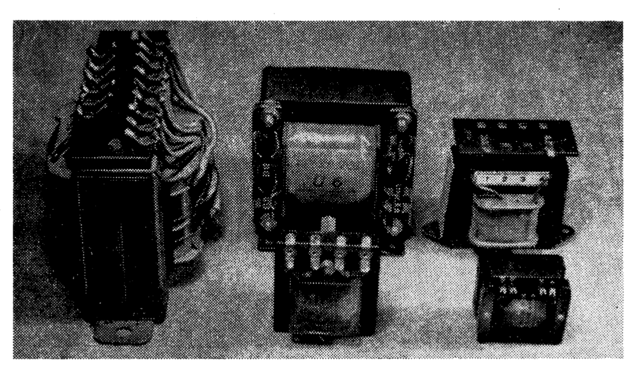


Bild 7 Transformatoren und Übertrager; links Netztransformator, daneben oben Ausgangsübertrager und Siebdrossel, darunter kleinere NF-Übertrager

transformatoren für die verschiedensten Verwendungszwecke. Der Netztransformator *N 85 U* der Firma *G. Neumann*, Creuzburg (Werra), weist folgende Daten auf:

Primärwicklung		110 und 220 V
Sekundärwicklungen	a)	2×280 V/85 mA angezapft bei 260 und 240 V
	b)	Heizung 6,3 V/0,9 A angezapft bei 4 V
	c)	Heizung 6,3 V/3,8 A

In der Niederfrequenztechnik bezeichnet man den Transformator allgemein als Übertrager. Unterschieden wird zwischen Eingangs-, Mikrofon-, Zwischen- und Ausgangsübertragern. Die NF-Übertrager werden meist zur Widerstandsanpassung benutzt, so zur Anpassung des niederohmigen Mikrofons an den hochohmigen Verstärkereingang oder zur Anpassung der niederohmigen Schwingspule eines Lautsprechers an den hochohmigen Außenwiderstand der Endröhre eines Niederfrequenzverstärkers. Da der Anodenstrom der Endröhre über die hochohmige Wicklung des Ausgangsübertragers fließt, hat der Ausgangsübertrager zur Vermeidung einer Gleichstromvormagnetisierung einen Luftspalt.

1.5. Trockengleichrichter und Dioden

An Stelle der Gleichrichterröhre kann zur Gleichrichtung einer Wechselspannung im Netzteil auch ein Trockengleichrichter verwendet werden (Bild 8). Oft wird dafür der aus einzelnen Platten zusammengesetzte Selengleichrichter benutzt. Während die Plattengröße maßgebend für die Strombelastung ist, bestimmt die Anzahl der Platten die gleichzurichtende Spannung. Die Sperrspannung neuerer Selenplatten beträgt etwa 20 V, die Strombelastung je cm² etwa 30 mA.
Wie die Gleichrichterröhre läßt auch der Selengleichrichter den Strom nur in einer Richtung fließen. Der Minuspol befindet sich an der Metallplatte, der Pluspol an der silbrigen Schutzschicht der Selenplatte. Je nach dem Verwendungszweck kann man mit Selengleichrichtern Einweg-, Zweiweg- oder *Graetz*-Gleichrichterschaltungen aufbauen.

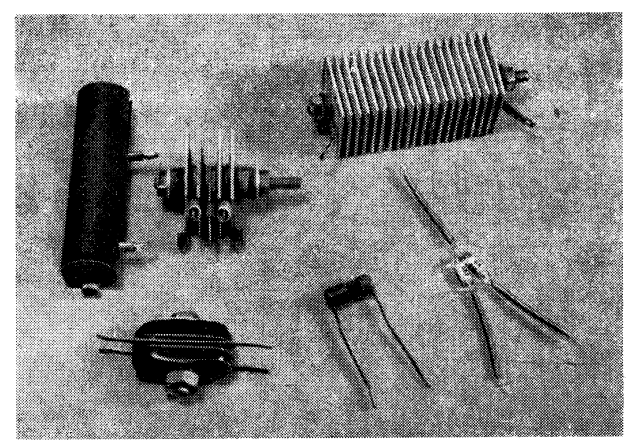


Bild 8 Trockengleichrichter und Germaniumdioden für verschiedene Verwendungszwecke. Links unten ein Kupferoxydulmeßgleichrichter („Maikäfer"), rechts daneben eine Germaniumdiode und ein Paar Germaniumglasdioden

Auf Germanium- oder Siliziumbasis hergestellte Halbleitergleichrichter weisen ein wesentlich kleineres Volumen als die Selengleichrichter auf.
Zur HF-Gleichrichtung verwendet man heute statt der früher üblichen Kristalldetektoren oder Sirutoren (Kupferoxydulgleichrichter) Germanium- oder Siliziumdioden in Allglasausführung oder in metallisierten Keramikkörpern (Bild 8).

1.6. Elektronenröhren und Transistoren

In der vielfältigsten Weise werden Elektronenröhren in der Funktechnik und in der Elektronik eingesetzt. So zum Beispiel zur Verstärkung kleiner Wechselspannungen, wie sie ein Mikrofon abgibt (Mikrofonvorverstärker). Sollen ein oder mehrere Lautsprecher betrieben werden, dann muß man eine entsprechende Endröhre verwenden (End- bzw. Lautsprecherverstärker). Ein anderes Problem ist die Gleichrichtung von Wechselspannungen (HF-Gleichrichter, Netzgleichrichter).

Besonders große Leistungen müssen von Elektronenröhren in den Endstufen von Rundfunksendern aufgebracht werden. Für die moderne Bastelpraxis verwendet man heute die Miniaturröhren, die klein sind und einen ökonomisch vertretbaren Leistungsbedarf haben. Außerdem lassen sich wesentlich bessere Ergebnisse erzielen als bei den älteren Elektronenröhrentypen. Es wird unterschieden zwischen Elektronenröhren für den Wechselstrombetrieb (E-Röhren), für den Allstrombetrieb (P- und U-Röhren) und für den Batteriebetrieb (D-Röhren). Bild 9 zeigt einige moderne Miniaturröhren.
Die Elektronenröhre wird heute in vielen Anwendungsbereichen erfolgreich durch den Transistor verdrängt. Das trifft vor allem zu bei kleinen Leistungen und niedrigen Frequenzen. Allerdings schreitet die Entwicklung der Transistoren äußerst schnell fort, und die Grenzen ihrer Anwendbarkeit sind vorläufig noch nicht abzusehen. In den Kreisen der Radiobastler nimmt das Interesse an der Anwendung der Transistoren für die praktische Schaltungstechnik ständig zu, weil sich einige wesentliche Vorteile gegenüber der Elektronenröhre ergeben.

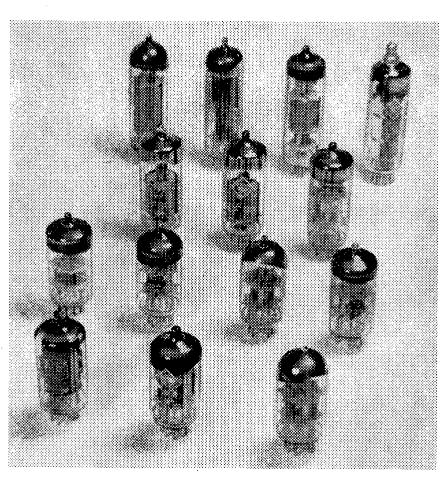


Bild 9 Verschiedene moderne Miniaturröhren

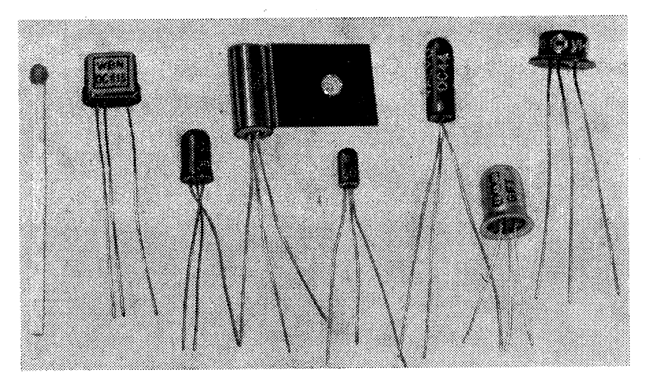


Bild 10 Transistoren für kleinere Leistungen verschiedener Herstellerwerke

Günstig wirkt sich vor allem der Fortfall der Heizleistung aus sowie die niedrige Gleichspannung, die zur Speisung notwendig ist. Die verwendeten Gleichspannungen liegen zwischen 1,5 und 24 V, wobei allerdings in den meisten Schaltungen nur Spannungen bis 9 V benötigt werden.
Dazu kommt die wesentlich geringere Größe des Transistors gegenüber der Elektronenröhre. Das ist bei vielen Anwendungsbeispielen für den Radiobastler wichtig, da er seine tragbaren Geräte möglichst klein bauen möchte. Bild 10 zeigt einige Ausführungsformen von Transistoren.
Näheres über die technischen Daten und die Schaltungstechnik von Röhren und Transistoren findet man in weiteren Heften der Reihe *electronica*, im *Großen Radiobastelbuch* von *K.-H. Schubert* sowie in dem Buch *Transistortechnik für den Funkamateur* von *H.-J. Fischer*.

1.7. Sonstige Bauelemente

Für den Selbstbau von Mehrbereich-Spulensätzen benötigt man Wellenschalter, die je nach Verwendungszweck Kreisschalter oder Drucktastenschalter sind (Bild 11).
Kreisschalter mit einer oder mehreren Schaltebenen fertigt

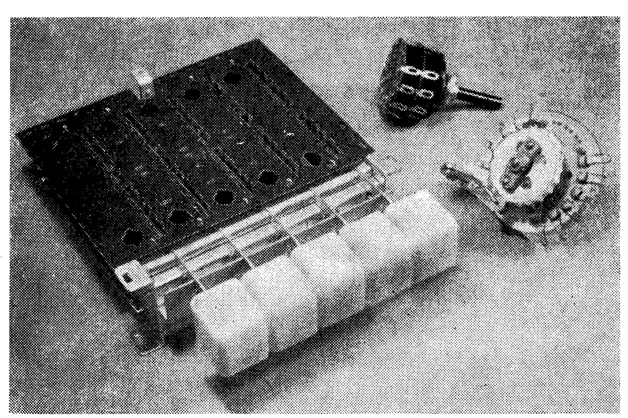


Bild 11 Drucktasten- und Drehschalter für verschiedene Anwendungszwecke

der VEB *Elektrotechnik* Eisenach. Besonders preisgünstig war eine Bastel- und Reparaturpackung dieses Betriebes, die sämtliche Einzelteile für einen kompletten Kreisschalter (Mehrstellenschalter) mit mehreren (bis zu 5) Schaltebenen enthält. Drucktastenschalter in verschiedenen Ausführungen fertigen derselbe Betrieb und die Firma *G. Neumann*, Creuzburg/Werra. Außerdem lieferte die Firma *G. Neumann* auch einen Miniaturschiebetastenschalter (bis zu 11 Tasten). Jeder einzelnen Taste können jeweils 6 Schaltkontakte zugeordnet werden.

Röhrenfassungen aus *Pertinax*, Preßstoff oder Keramik für die in den Röhrenlisten der volkseigenen Röhrenwerke enthaltenen Röhren sind im Handel erhältlich (Bild 12). Es ist ratsam, für den Aufbau von Geräten oder zum Ausprobieren von Schaltungen immer einige Röhrenfassungen vorrätig zu halten. Das trifft auch für übliche Drehknöpfe oder für Zeigerknöpfe zu, die speziell für Meßgeräte verwendet werden (Bild 12).

Für einfache Schaltvorgänge, also 1- oder 2polige Ein-Aus-Schaltungen sowie 1- oder 2polige Umschaltungen, verwendet man Kippschalter (Bild 13). Für tragbare Geräte, an denen die

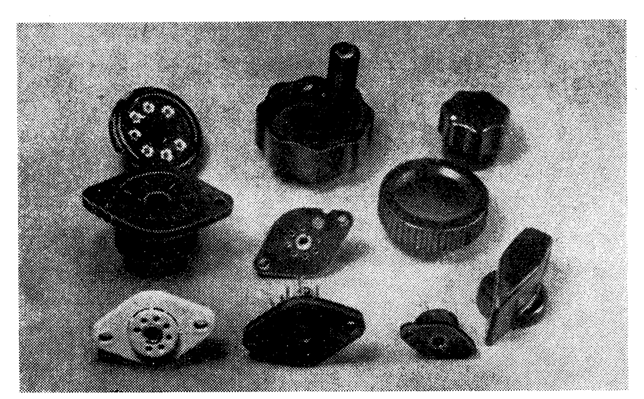


Bild 12 Röhrenfassungen für 7- und 9polige Miniaturröhren sowie für Oktalröhren (links) und verschiedene Drehknöpfe (rechts)

Schalthebel aus Preßstoff leicht abgebrochen werden, empfiehlt sich die Anwendung der gleichen Schaltausführung als Schiebeschalter.
Stecker und passende Buchsen findet man in den vielfältigsten, dem jeweiligen Anwendungsgebiet und den damit verbun-

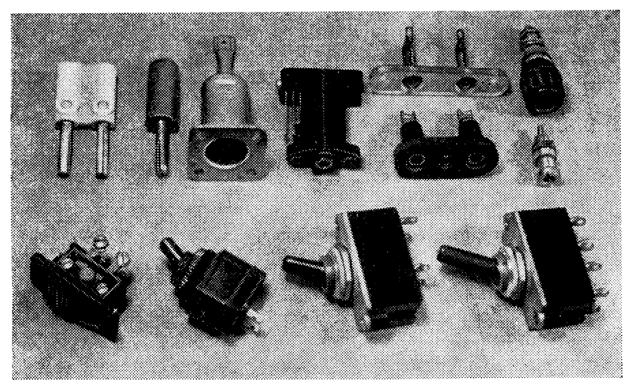


Bild 13 Verschiedene Bauteile für den Selbstbau von funktechnischen Geräten; 1- und 2polige Stecker und Buchsen (oben) und verschiedene Kipp- und Schiebeschalter (unten)

denen Anforderungen entsprechenden Ausführungen. Die einfachste Steckverbindung, Bananenstecker und Telefonbuchse, genügt in vielen Fällen, z. B. bei Netzgeräten, Rundfunkempfängern usw. Bei NF-Verstärkern mit empfindlichen Eingängen, also bei kleinen Eingangsspannungen wie in Mikrofonvorverstärkern, empfiehlt sich zur Vermeidung von Brummeinstreuungen die abgeschirmte Ausführung einer Steckverbindung. Das gleiche trifft zu für einige Anwendungen in der HF-Technik, z. B. bei Meßsenderausgängen, Frequenzmessereingängen usw.
Um den Netztransformator oder andere teure Bauelemente vor Schaden zu bewahren, wird eine Absicherung des Gerätenetzeingangs und der Anodengleichspannung angeraten. Für diese Zwecke sind Feinsicherungen angebracht (Bild 14), die in einem Glasröhrchen zwischen 2 Metallkappen den leicht schmelzenden Draht enthalten. Als Sicherungshalter benutzt man *Pertinax*-Brettchen mit 2 Klemmfedern oder ein Sicherungselement mit Schraubkopf. Bei der Absicherung ist der Nennstromwert der Feinsicherung etwas höher zu bemessen

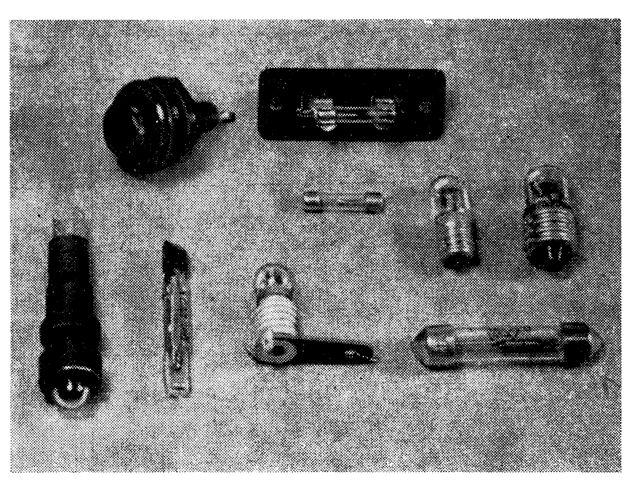


Bild 14 Feinsicherungen (oben), Skalenlampen und Glimmlampen mit entsprechenden Fassungen (unten)

als der tatsächlich fließende Strom. Die entsprechenden Feinsicherungen werden in den Ausführungen „flink“ und „träge“ hergestellt. Träge Feinsicherungen lassen sich eine Zeitlang mit einer höheren Stromstärke betreiben, ehe sie durchbrennen.

Für die Beleuchtung von Skalen und zur Anzeige des Betriebszustandes werden kleine Glühlampen verwendet (Bild 14). In Wechselstromgeräten findet man meist Glühlampen für 6,3 V/0,3 A und in Allstromgeräten Glühlampen für 18 V/0,1 A. Zur Anzeige des Betriebszustandes benutzt man oft kleine Glimmlampen. Bei ihrer Anwendung muß beachtet werden, daß sie einen Vorwiderstand von etwa 300 kΩ benötigen. Für die einzelnen Glühlampenarten, mit Schraubsockel oder in Soffittenausführung, gibt es verschiedene Arten von Lampenfassungen, die man je nach Bedarf wählt.

Zum Selbstbau von Skalenantrieben für Empfangs- oder Meßgeräte hält der Handel Skalenräder (Seilräder) in verschiedenen Größen bereit (Bild 15). Auch die für die Führung des Skalenseiles notwendigen Umlenkrollen erhält man ebenso wie die auf 6-mm-Achsen aufschiebbaren Antriebshohlachsen in den Fachgeschäften.

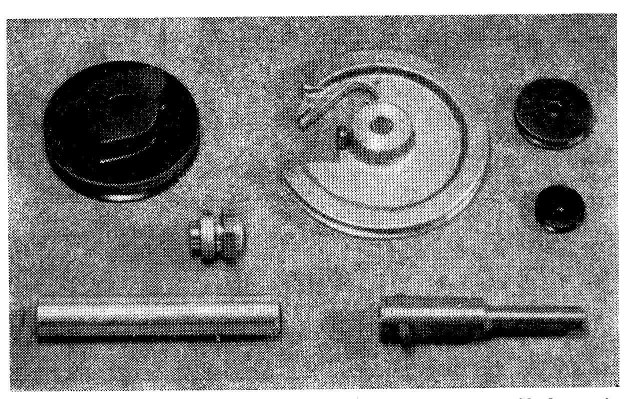


Bild 15 Verschiedene Bauteile für den Selbstbau von Skalen, wie Seilräder, Umlenkrolle, Führungsbuchse, Antriebsachse und Verlängerungsachse

Zum Verdrahten eines selbstgebauten Gerätes ist isolierter Schaltdraht mit einem Kupferdurchmesser von 0,5 oder 0,7 mm erforderlich. Wird die Schaltverbindung dauernden Bewegungen ausgesetzt, so muß isolierte Schaltlitze verwendet werden, die sehr flexibel ist. Zum Isolieren blanker Drahtverbindungen nimmt man Isolierschlauch (Gummi- oder getränkten Webschlauch). Für HF-Spulen hält man HF-Litze $20 \times 0{,}07$ mm und versilberten Kupferdraht vorrätig.

2. Wie bauen wir funktechnische Geräte auf

Wer sich ein Empfangsgerät, ein Meßgerät oder einen Verstärker bauen möchte, muß als ersten Arbeitsgang die notwendige Schaltung entwerfen oder besorgen. Die Schaltung gibt an, welche funktechnischen Bauelemente für den Aufbau des Gerätes notwendig sind. Die erforderlichen Bauteile beschafft man sich beim Fachhändler, in den Fachgeschäften der HO oder des Konsums. Sind alle Einzelteile vorhanden, dann beginnt die eigentliche Konstruktionstätigkeit.

2.1. Anordnung der Einzelteile auf dem Chassis

Um Pannen, wie etwa verbohrte Löcher oder gar ein nicht mehr brauchbares Chassis, zu vermeiden, empfiehlt es sich, an die konstruktiven Aufgaben äußerst gewissenhaft heranzugehen.

Zwar ist noch kein Meister vom Himmel gefallen, und auch der angehende Radiobastler muß Lehrgeld zahlen; aber mit genügend Überlegung bei der Arbeit kann man größere Fehler vermeiden.

Bei der Anordnung der einzelnen Bauelemente auf dem Chassis kommt es darauf an, diese in der richtigen Reihenfolge aufzubauen. Das heißt, die zu einer Stufe gehörenden Bauelemente werden zusammenhängend angeordnet und die in der Schaltung aufeinanderfolgenden Stufen auch auf dem Chassis dieser Folge entsprechend aufgebaut. Weiter sind die einzelnen Bauelemente so anzuordnen, daß eine gegenseitige Beeinflussung möglichst vermieden wird. Das bedingt in dem einen oder anderen Fall Abschirmung für einzelne Bauelemente.

Bild 16 zeigt den Aufbauplan für einen Einkreisempfänger. Alle größeren Bauteile (Röhren, Drehkondensatoren, Elektrolytkondensatoren und Ausgangsübertrager) finden auf dem Chassis Platz, während kleinere Bauelemente (Widerstände, Kondensatoren, Spulensatz, Trockengleichrichter und Rück-

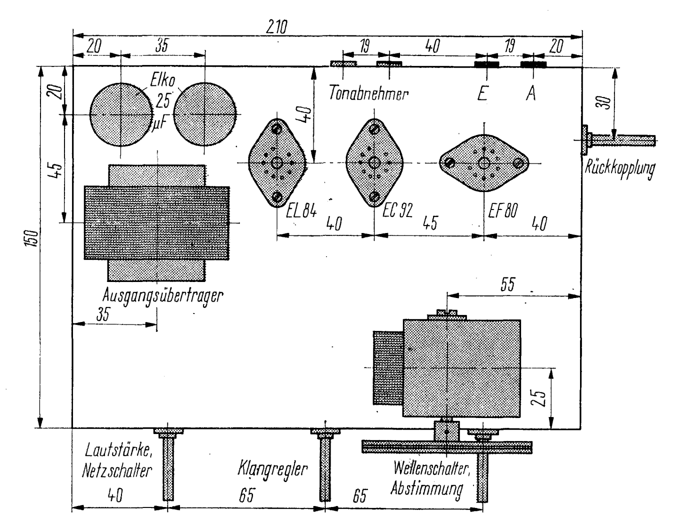


Bild 16 Aufbauplan eines einfachen Einkreisempfängers

kopplungsdrehkondensator) unter dem Chassis angeordnet werden. Ebenso befinden sich unter dem Chassis die Potentiometer für Lautstärke und Klangregelung, während der Netztransformator bei dieser Anordnungsart beim Einbau des Chassis in das Holzgehäuse neben das Chassis gestellt wird.

Aus der Anordnung des Aufbauplanes erkennt man den zweckmäßigen Aufbau der einzelnen Bauelemente auf dem Chassis. So folgt auf die Audionröhre *EF 80* die NF-Vorröhre *EC 92* und auf diese die Endröhre *EL 84.* Unmittelbar zur Audionstufe gehören der Abstimmdrehkondensator, der Spulensatz (unter dem Drehkondensator angeordnet), der Rückkopplungsdrehkondensator (ebenfalls unter dem Chassis angeordnet) und an der Rückseite die Antennen- und die Erdbuchse. Damit stehen alle zur Audionstufe gehörenden Bauelemente zusammen, und die Verdrahtung benötigt keine langen Zuleitungen. Genauso verhält es sich bei den anderen Röhrenstufen.

Lange Zuleitungen zu den im Verstärkungsweg liegenden Bauelementen bergen vielerlei Störquellen in sich. Sie führen oft

zu einer Schwingneigung (Selbsterregung), die sich durch Pfeifen und ähnliche Geräusche bemerkbar macht; auch kann durch Brummeinstreuungen jegliche saubere Verstärkung illusorisch werden. Man muß also schon bei Festlegung der Konstruktion die Verdrahtung berücksichtigen.

Das Vermeiden der Schwingneigung ist vor allem wichtig bei Geräten, die mehrere, auf der gleichen Frequenz arbeitende HF-Schwingkreise haben, so z. B. bei Mehrkreisempfängern, bei mehrkreisigen HF-Eingangsschaltungen von Superhetempfängern und bei ZF-Verstärkern. Liegt bei einer Elektronenröhre am Steuergitter und an der Anode je ein Schwingkreis mit gleicher Resonanzfrequenz, so erfolgt bei genügender Größe der Gitter-Anoden-Kapazität der Elektronenröhre eine Selbsterregung (Prinzip des *Huth-Kühn*-Senders). Es müssen also Gitterkreis und Anodenkreis gut gegeneinander abgeschirmt werden. Die jeweiligen Spulen dürfen nicht aufeinander koppeln, weil dadurch die Selbsterregung noch gefördert wird.

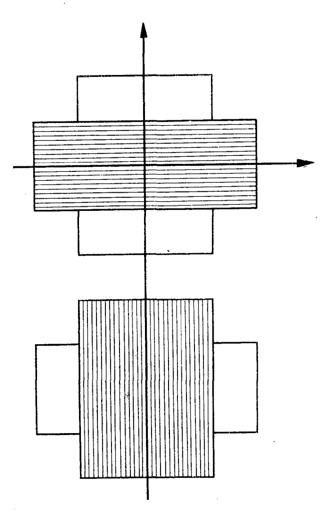


Bild 17 Richtige Anordnung von Transformatoren und Drosseln, um die gegenseitige magnetische Beeinflussung zu mindern

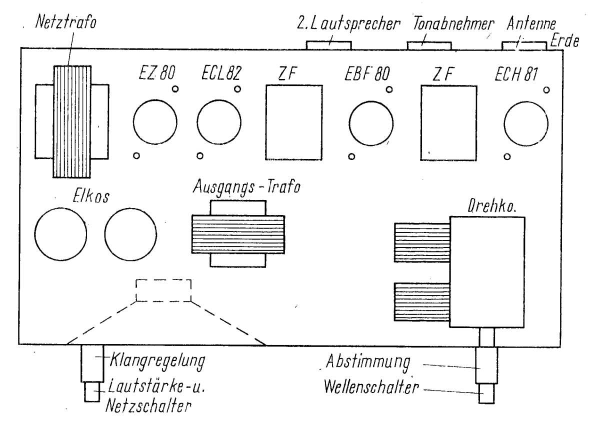


Bild 18 Aufbaubeispiel für einen 6-Kreissuperhet

Im Niederfrequenzverstärker sind vor allem die Zuleitungen zu den Steuergittern der Verstärkerröhren gegen Brummen empfindlich. In diesem Fall helfen nur abgeschirmte Leitungen, wenn man längere Leitungen, z. B. zum Lautstärkeregler, verlegen muß. Ein Ende des Abschirmkupfergeflechtes wird dabei an Masse gelegt.

Schwingkreisbauelemente, also Spulensatz und Abstimmdrehkondensator, sind eng übereinander oder nebeneinander aufzubauen, damit die Verdrahtung ebenfalls so kurz wie möglich ausgeführt werden kann. Offene Spulen sollen dabei nicht zu nahe an Metallteile gesetzt werden, da sonst die Güte der Spule verschlechtert wird. Transformatoren bzw. Eisendrosseln sind so nebeneinander aufzubauen, daß ihre magnetischen Achsen senkrecht aufeinanderstoßen (Bild 17), sonst erfolgt eine gegenseitige Beeinflussung durch das Magnetfeld der einzelnen Eisenkerne. Bei falschem Aufbau kann z. B. die Siebwirkung einer Eisendrossel durch den Netztransformator verschlechtert werden. Auch sollen die Eisenkerne möglichst eine Isolierstoffunterlage (*Pertinax*) erhalten, damit über das Chassis keine Brummeinstreuungen erfolgen. Bild 18 zeigt den zweckmäßigen Aufbau eines 6-Kreis-AM-Superhet-

empfängers. Auf die Mischoszillatorröhre *ECH 81* folgt das erste ZF-Bandfilter. Anschließend ist die ZF-Verstärkerröhre *EBF 80* angeordnet, danach das 2. ZF-Bandfilter. Die Demodulation erfolgt ebenfalls in der Röhre *EBF 80*. An das 2. Bandfilter schließt sich der 2stufige Niederfrequenzverstärker mit der Röhre *ECL 82* an. Ausgangstransformator und Lautsprecher sind vor der NF-Röhre angeordnet. Im linken Teil des Chassis befindet sich der Netzteil. Verwendet man für den 2stufigen NF-Teil 2 getrennte Röhren, z. B. *EC 92* und *EL 84*, so kann das 2. ZF-Bandfilter vor der Röhre *EBF 80* angeordnet werden und die NF-Vorverstärkerröhre *EC 92* an der ursprünglichen Stelle des 2. ZF-Bandfilters.
Einen besonders sorgfältigen Aufbau muß man bei UKW-Empfängern vornehmen, um Schwingneigungen zu vermeiden. Bei den verwendeten hohen Frequenzen bilden bereits kurze Drahtstücke wesentliche Induktivitäten und Kapazitäten. Man sollte deshalb so eng wie möglich aufbauen, damit zur Verdrahtung kaum Schaltdraht benötigt wird.

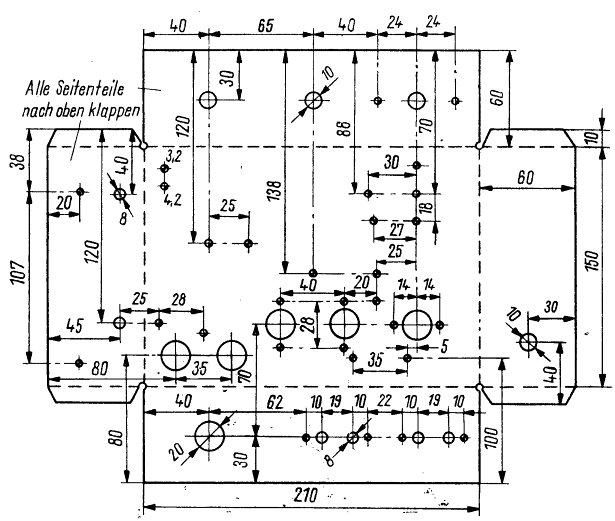


Bild 19 Bohrplan für das Chassis des in Bild 16 gezeigten Einkreisempfängers

Der Aufbau eines O-V-1 (Audion plus NF-Stufe) ist schon recht schwierig, wenn man einigermaßen vernünftige Empfangsergebnisse erzielen will. Mancher Newcomer (Neuling) hat schon die Flinte ins Korn geworfen, weil die Rückkopplung nicht den Anforderungen entsprach.
Sorgfältig überlegter Aufbau ist also eine Grundvoraussetzung für das spätere einwandfreie Funktionieren eines selbstgebauten Gerätes. Man sollte sich daher nicht scheuen, die Hilfe erfahrener Kameraden in Anspruch zu nehmen, die an den Klubstationen der GST jederzeit zu finden sind. Ist der Aufbau klar, so zeichnet man am besten das Chassis im Maßstab 1:1 auf einen Bogen Papier auf, legt die Anordnung der einzelnen Bauelemente fest und bestimmt die wichtigsten Maße der auszuführenden Bohrungen. Auf diese Weise entsteht ein Bohrplan, mit dessen Hilfe die Maße auf das Chassis übertragen werden (Bild 19). Erst dann wird mit dem Bohren der Löcher begonnen.

2.2. Anordnung der Einzelteile auf der Frontplatte

Viele Geräte werden so ausgeführt, daß man hinter einer senkrecht stehenden Frontplatte ein waagerecht liegendes Chassis anordnet. Das trifft vor allem zu für KW-Geräte, Meßgeräte, Netzgeräte und Verstärker. Bei dieser Bauart werden die wichtigsten Bauelemente, die entweder zur Anzeige erforderlich oder laufend zu bedienen sind, auf der Frontplatte angebracht. Die Bauelemente soll man jedoch nicht regellos anordnen, damit auch die Frontplatte einen ansprechenden Eindruck vermittelt.
Bild 20 zeigt die Frontplatte eines KW-Einkreisempfängers (O-V-1). In der Mitte befindet sich die Skala des KW-Empfängers, rechts daneben die Glimmlampe, die die Betriebsbereitschaft des Gerätes anzeigt sowie die Sicherung des Netzteiles. Der Netzteil ist auf dem Chassis dahinter angeordnet. Die oft gebrauchten Drehknöpfe sind unten angebracht und tragen auf diese Weise erheblich zur Bequemlichkeit bei. Der Amateur lernt diese tiefliegende Anordnung besonders dann

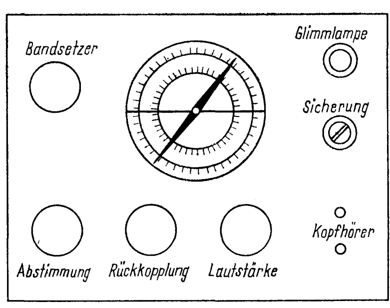


Bild 20 Aufbaubeispiel der Frontplatte eines O-V-1 für KW-Empfang

schätzen, wenn er in einem Wettkampf stundenlang am Empfänger sitzt und den bedienenden Arm dabei auf der Tischplatte auflegen kann. Aus diesem Grund ist der Drehknopf der Bandabstimmung ebenfalls im linken Teil des Gerätes eingesetzt, da die rechte Hand meist zum Mitschreiben benutzt wird und die linke Hand indessen bequem den Empfänger abstimmen kann. Weiterhin sind unten der Drehknopf für die Lautstärkeregelung, die Rückkopplungsregelung und der Kopfhöreranschluß. Links oben befindet sich der Drehknopf für den Bandsetzerdrehkondensator, der in jedem Empfangsband nur einmal eingestellt wird. Bei der Anordnung der

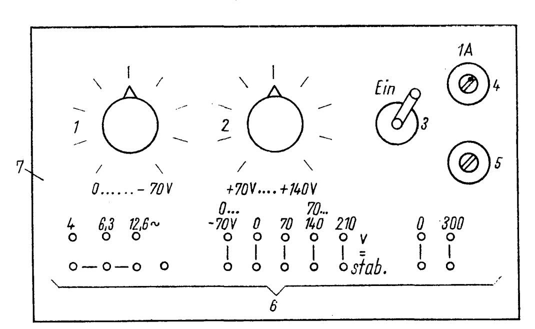
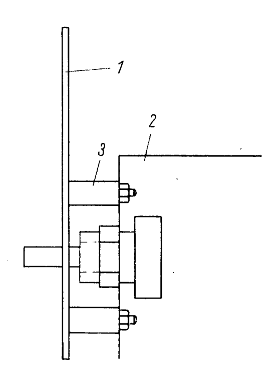


Bild 21 Aufbaubeispiel der Frontplatte eines Netzgerätes; 1 und 2 — Potentiometer zur Spannungsregelung, 3 — Netzschalter, 4 und 5 — Sicherungen, 6 — Buchsen zur Stromentnahme, 7 — Frontplatte aus *Pertinax*, 5 mm

Bild 22
Anordnung der Frontplatte (1) vor dem Chassis (2) mit Hilfe von Abstandsstücken (3). Die Befestigung von Schaltern und Potentiometern erfolgt am Chassis, so daß lediglich die Achsen durch die Frontplatte führen



Einzelteile auf der Frontplatte sollte auf die Wahrung einer bestimmten Symmetrie geachtet werden (Bild 21). Es ist ratsam, sich auch von der Frontplatte vor der Ausführung der Bohrarbeiten eine maßgerechte Skizze anzufertigen, was das Arbeiten wesentlich erleichtert. Vor allem darf man das dahinter liegende Chassis nicht außer acht lassen, sonst kann es vorkommen, daß das Potentiometer oder andere Bauteile an das Chassis anstoßen und durch Aussägen sowie Feilarbeiten erst Platz dafür geschaffen werden müßte.
Sollten die Befestigungsmuttern, z. B. vom Potentiometer, auf der Frontplatte stören, so kann man hinter der eigentlichen Frontplatte in einem bestimmten Abstand eine 2. Platte anordnen, auf der die einzelnen Bauelemente befestigt werden (Bild 22). Die Frontplatte enthält dann nur die Durchführungslöcher für die Achsen. Glatt anliegende Bauelemente wie Meßinstrumente, Sicherungen oder Glimmlampen bringt man allerdings auf der Frontplatte an. Damit die Bohrungen genau übereinander liegen (Befestigungsloch und Durchführungsloch), werden beide Platten zusammengespannt und gleichzeitig gebohrt. In diesem Fall sind die Maße nur auf der Frontplatte festgelegt. Die Aufbauplatte wird dann mit entsprechenden Abstandsstücken an der Frontplatte befestigt. Außerdem erlaubt die Bauweise mit 2 Platten eine gute Lösung der Skalenfrage, ganz gleich, ob eine Rund-, Halbrund- oder Linearskala verwendet werden soll. An der Frontplatte

wird die Abdeckscheibe der Skala befestigt und an der Aufbauplatte die Skala selbst. Der Zeiger bewegt sich dann zwischen den beiden Platten.
Für die Kennzeichnung und Beschriftung der einzelnen auf der Frontplatte angeordneten Bauelemente gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Am saubersten wirkt es, wenn die entsprechenden Bezeichnungen auf der Frontplatte oder auf schwarzlackierten Blechschildern bzw. Schichtkunststoffen eingraviert werden. Auf Aluminiumfrontplatten, die lediglich mit Schmirgelleinen glattgeschliffen sind, kann man die Beschriftung auch mit schwarzer Tusche aufbringen. Anschließend werden diese Beschriftungen mit farblosem Lack oder Wasserglas abgedeckt, damit sie sich nicht so schnell abgreifen. Unsauber dagegen wirken bald schon aufgeklebte, mit Schreibmaschine beschriftete Papierschilder.
Sind zu den an der Frontplatte befestigten Bauelementen längere Zuleitungen notwendig, so müssen die zur Selbsterregung oder Brummeinstreuung neigenden Zuleitungen auf jeden Fall abgeschirmt werden. Dazu benutzt man mit Kupfergeflecht abgeschirmte Leitungen. Das trifft in den meisten Fällen zu für Leitungen, die HF- oder NF-Spannungen führen.
Bei Niederfrequenz führt die zwischen Ader und Kupfergeflecht auftretende Kapazität noch zu keinen wesentlichen Verlusten. Es genügt daher für diese Zwecke ein mit Kupfergeflecht abgeschirmter isolierter Schaltdraht oder entsprechende Litze. Im Hochfrequenzgebiet jedoch führt die auftretende Kapazität zu Verlusten, so daß man ein kapazitätsarmes, abgeschirmtes Kabel verwenden muß. Abgeschirmte HF-Kabel sind an dem wesentlich größeren Durchmesser leicht zu erkennen. Bei diesen Kabeln wird das Kupfergeflecht durch Isolierstoffe in einem bestimmten Abstand von der Ader gehalten.

3. Der Selbstbau mechanischer Einzelteile

In dem Heft *Praktisches Radiobasteln I* wurden besonders die Werkzeuge und die verschiedenen Arbeitstechniken erklärt. Das war notwendig, weil der Radiobastler die meisten mechanischen Arbeiten selbst erledigen muß. Eine Werkstatt zu bemühen, würde sich stark auf den Geldbeutel auswirken. Außerdem ist der Stolz über ein wohlgelungenes Gerät wesentlich größer, wenn man erklären kann, daß man alles selbst gebaut hat. Es wird daher empfohlen, den ersten Teil gründlich zu studieren, da er zahlreiche nützliche Erfahrungen vermittelt, die manchen Fehlschlag vermeiden helfen.

3.1. Chassis

Für die Ausführung des Chassis gibt es zahlreiche Möglichkeiten (Bild 23). Die einfachste Form ist das U-förmig ge-

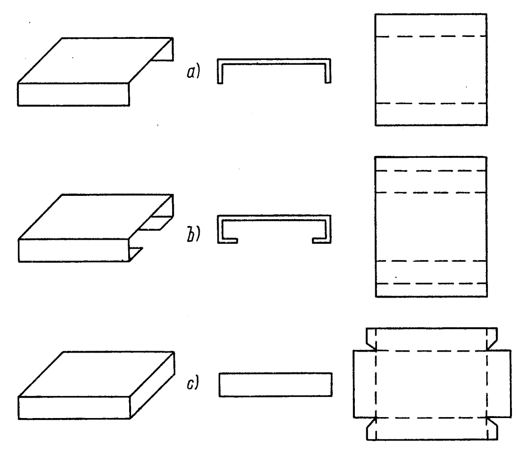


Bild 23 Chassisformen I; a — einfaches U-förmiges Chassis, b — doppelt gebogenes U-förmiges Chassis, c — allseitig abgebogenes kastenförmiges Chassis

bogene Chassis. Zur Befestigung des Chassis im Gehäuse werden unten kleine Winkel angesetzt. Diese Arbeit kann man sparen, wenn das Chassis doppelt U-förmig gebogen wird. Es entstehen dann unten 2 schmale Blechstreifen, die zur Befestigung des Chassis im Gehäuse dienen können. Sollen auch an den Seiten Bauelemente befestigt werden, so ist das Chassis allseitig abzubiegen. Man erhält dann ein kastenförmiges Chassis. Bei den bisher beschriebenen Chassisformen empfiehlt sich das Anbringen der Bohrungen bereits vor dem Biegen; denn das Anreißen der Bohrungen und das Entgraten nach dem Bohren läßt sich an der flachen Platte besser durchführen. In einem anderen Fall setzt sich das Chassis aus 2 U-Schienen und einer Chassisplatte zusammen (Bild 24). Die einzelnen Teile werden durch Verschrauben oder Vernieten aneinandergefügt. Für den Aufbau von Versuchsschaltungen empfiehlt sich ein Chassisrahmen aus Winkelmaterial, bei dem das eigentliche Chassis aus Blechstreifen besteht.

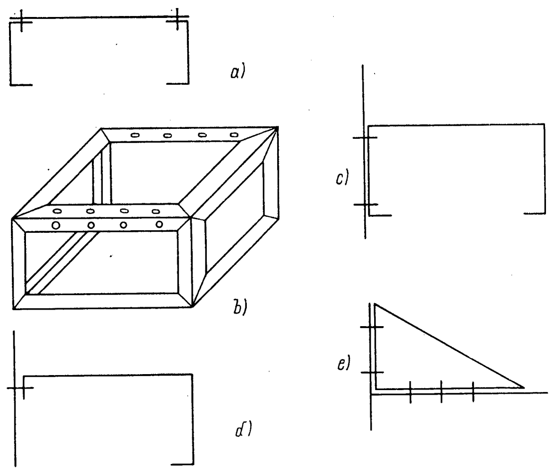


Bild 24 Chassisformen II; a — bestehend aus Aufbauplatte und 2 U-Schienen, b — Rahmen aus Winkelmaterial für Versuchschassis in Streifenbauweise, c — und d — Chassis mit Frontplatte, e — Front- und Chassisplatte werden durch Dreieckbleche verbunden

Bei dieser Bauform ergeben sich zahlreiche Variationsmöglichkeiten. So kann ein reichlich dimensionierter Netzteil immer bestehen bleiben, ebenso z. B. ein 2stufiger Niederfrequenzverstärker. Auf den anderen Blechstreifen baut man dann Einkreis-, Zweikreis- oder Superhetschaltungen auf, die man ausprobieren möchte. Diese Chassisbauform ist also für den Versuchsbetrieb universell verwendbar.

Als Material für den Bau des Chassis dient halbhartes Aluminiumblech oder galvanisch vorbehandeltes Eisenblech. Während man bei Aluminium Plattenstärken von 1,5 bis 2 mm verwendet, genügen bei Eisenblech Stärken von 0,75 bis 1 mm. Die größere Blechstärke nimmt man bei längeren Chassis, damit das Chassis nicht zu labil wird. Bei größeren Chassistiefen empfiehlt sich eine Versteifung des Chassis, damit z. B. ein größerer Netztransformator nicht die Chassisplatte durchbiegt. Die Versteifungen können seitlich von der Chassismitte nach den abgebogenen Blechstreifen hin befestigt werden, oder es wird ein Stück Bandeisen an beiden Außenseiten zwischen den beiden Befestigungsstreifen angebracht. Der Vorgang des Biegens wurde bereits in *Praktisches Radiobasteln I* eingehend beschrieben.

Auch für das Chassis mit senkrecht stehender Frontplatte ergeben sich zahlreiche Ausführungsformen; die bekannteste ist

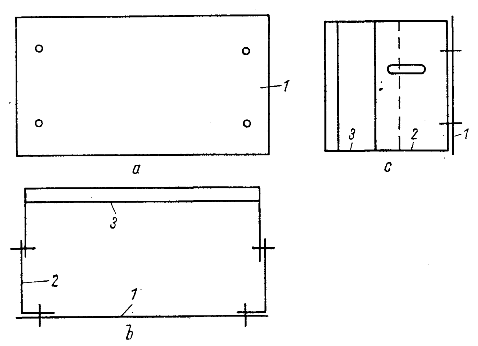


Bild 25 Frontplatte und Chassis für die Flachbauweise; 1 — Frontplatte, 2 — Blechwinkel, 3 — Chassis; a — Vorderansicht, b — Draufsicht, c — Seitenansicht

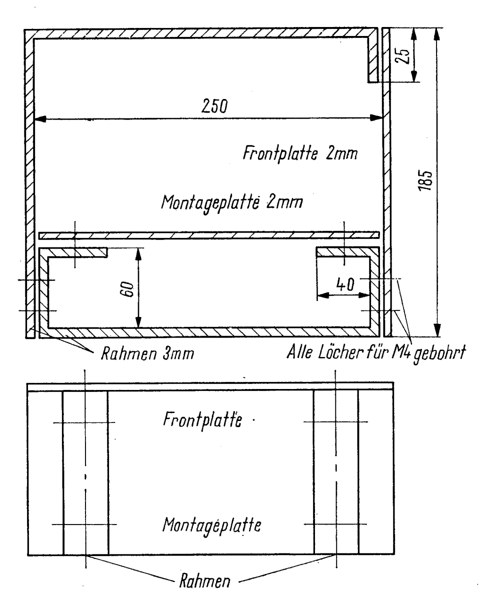


Bild 26 Universalchassis, bei dem Frontplatte und Aufbauchassis durch 2 Rahmen gehalten werden

das U-förmige Chassis mit daran befestigter Frontplatte. Eine Materialersparnis wird erzielt, wenn man das Chassis L-förmig biegt und mit 2 schmalen Befestigungsstreifen versieht. Eine elegante Lösung ohne große Biegearbeiten ergibt sich, wenn an 2 Dreieckblechen 2 schmale Befestigungsstreifen abgebogen und mit diesen Frontplatte und Chassisplatte verbunden werden. Es besteht dann zusätzlich noch die Möglichkeit, die Chassisplatte im Gehäuse auf ein oder zwischen 2 Winkelschienen laufen zu lassen, was wesentlich zur Stabilität des ausgeführten Gerätes beiträgt. Bei der heute viel verwendeten Flachbauweise wird das Chassis parallel zur Frontplatte angeordnet, also ebenfalls senkrecht (Bild 25). Die Verbindung mit der Frontplatte erfolgt durch 2 entsprechend lange, abgewinkelte Blechstreifen. Auf welcher Seite die Verdrahtung vorgenommen wird, ergibt sich aus den Erfordernissen. Zu empfehlen ist eine Verdrahtung auf der inneren Seite des

Chassis, da auf diese Weise eine wesentlich kürzere Verdrahtung zu den Bauelementen entsteht, die an der Frontplatte befestigt sind. Bild 26 zeigt ein universell verwendbares Chassis mit Frontplatte.

Die Breite des Chassis ergibt sich je nach dem Umfang der Schaltung und den unterzubringenden Bauelementen. Ein zu großes Chassis ist unzweckmäßig, da dies zwangsläufig lange Leitungsführungen bedingt. Ein zu kleines Chassis mit entsprechend engem Aufbau birgt dagegen die Gefahr von Verkopplungen, Auftreten von Selbsterregung und Brummstörungen. Es muß also auch bei der Festlegung der Chassisgröße an einen zweckmäßigen Aufbau gedacht werden. Für Chassis und entsprechende Gehäuse geben die *TGL* bevorzugte Größen an. Diese Größen sollten maßgebend sein, wenn Geräte gebaut werden, für die man Chassis und Gehäuse aus Metall anfertigen muß.

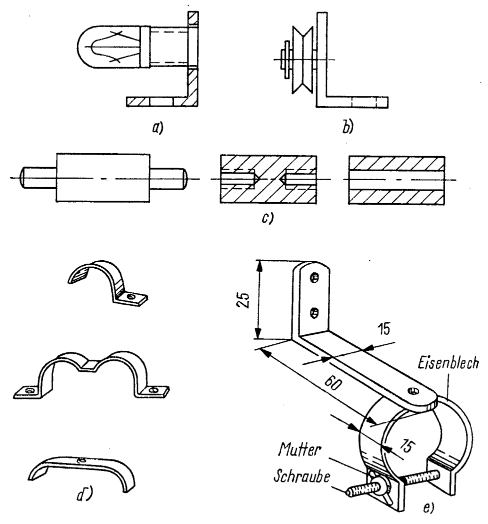


Bild 27 Befestigungsteile; a — Winkel für Skalenlampe, b — Winkel für Seilrolle, c — Abstandsstücke, d — Befestigungsschellen für Elektrolytkondensatoren usw., e — Halterung für ein magisches Auge (z. B. *6 E 5*)

3.2. Befestigungsteile

Für die Montage einzelner Bauelemente auf dem Chassis oder auf der Frontplatte sind selbst hergestellte Befestigungsteile, wie Winkel oder Schellen (Bild 27), erforderlich. Diese Teile werden durch Biegen im Schraubstock angefertigt, nachdem die notwendigen Abmessungen festgelegt wurden. Befestigungswinkel benötigt man z. B. für Skalenlampenfassungen, Seilrollen, Drehkondensatoren usw., während Schellen bei runden Bauelementen, wie Rollblockkondensatoren, Kabelbäumen oder stärkeren Kabeln, angewendet werden. Mitunter müssen Bauelemente etwas über dem Chassis stehen. Bei nicht zu großen Abständen benutzt man dazu Abstandsstücke, die entweder auf beiden Seiten ein Gewinde haben oder eine durchgehende Bohrung aufweisen, durch die eine Befestigungsschraube geführt werden kann.

3.3. Skalen

Die zu bedienenden Bauelemente verbindet man mit einer Skala, auf der sich dann leicht die eingestellten Werte ablesen lassen (Bild 28). Einfache Skalenformen stellen z. B. Drehknöpfe mit eingravierter Skala dar, die von einem festen Punkt aus abgelesen werden, oder Zeigerdrehknöpfe, bei denen eine Skala untergelegt ist. Das Ablesen erfolgt jeweils an der Spitze des Zeigerdrehknopfes. Größere Ableseskalen können in den vielfältigsten Formen konstruiert werden. Von der Antriebsart her unterscheidet man Skalen mit direktem Antrieb, mit Schnurantrieb und mit Zahnradantrieb. Beim direkten Antrieb wird die bewegliche Achse entweder starr mit dem Antriebsknopf oder mit einer Übersetzung durch ein Planetengetriebe verbunden, das sich im Antriebsknopf befindet. Der Schnurantrieb ist die bekannteste — vom Rundfunkgerät her gewohnte — Antriebsart. Bei hochwertigen Meßgeräten oder Spezialempfängern verwendet man einen Antrieb mit verspannten Zahnrädern, weil bei dieser Antriebsart das Skalenspiel entfällt und die Wiederkehrgenauigkeit der

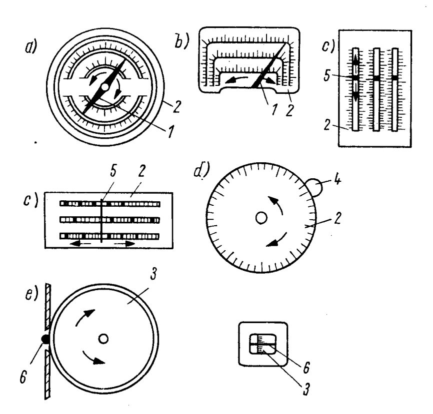


Bild 28 Verschiedene Formen von Skalen für funktechnische Geräte; a — unbewegliche Kreisskala mit drehbarem Zeiger, b — unbewegliche Rechteckskala mit beweglichem Zeiger, c — unbewegliche Rechteckskala mit geradlinig verschiebbarem Zeiger, d — drehbare Kreisskala mit unbeweglichem Zeiger, e — drehbare Trommelskala mit unbeweglichem Zeiger. 1 — Drehbarer Zeiger, 2 — Skala, 3 — drehbare Trommelskala, 4 — unbeweglicher Zeiger, 5 — beweglicher Zeiger, 6 — unbeweglicher Zeiger

Einstellung besonders günstige Werte erreicht. Bei den Skalen mit beweglichen Zeigern gibt es folgende hauptsächliche Typen:

Kreisskala mit beweglichem Drehzeiger,
Rechteckskala mit beweglichem Drehzeiger,
Rechteckskala mit waagerecht oder senkrecht beweglichem Zeiger.

Dazu kommen noch folgende Skalen mit feststehendem Zeiger:

drehbare Kreisskala mit feststehendem Zeiger,
drehbare Trommelskala mit feststehendem Zeiger.

Für den Selbstbau von Skalenantrieben kommt allerdings nur der Schnurantrieb in Frage (Bild 29). Man benötigt dafür lediglich ein dem Zeigerweg entsprechendes Skalenrad mit Seilrillen, eine Antriebsachse, eine Zugfeder zum Spannen der Antriebsschnur und einige Seilrollen zur Richtungsänderung des Schnurverlaufs. Den einfachsten Schnurverlauf zeigt

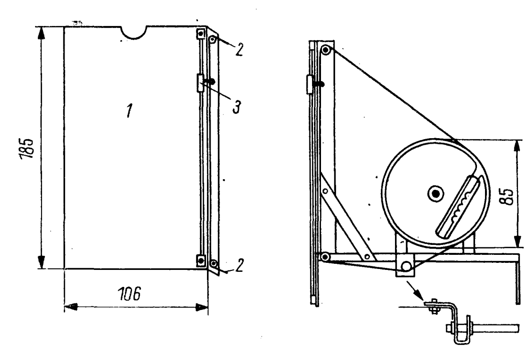


Bild 29 Aufbaubeispiel einer senkrecht stehenden Linearskala; 1 — Skalenrückwand, 2 — Skalenseil, 3 — Zeigerbefestigung

Bild 30. Er führt direkt vom Skalenrad zur Antriebsachse und von dort zum Skalenrad zurück. Das Skalenrad hat eine zentrische Bohrung, durch die die Achse des angetriebenen Bauelements geführt wird. Mit 1 oder 2 Madenschrauben wird das Skalenrad auf der Achse festgeschraubt. Am Skalenrad sind meist 2 Bohrungen oder Zapfen zur Befestigung der beiden Enden des Schnurantriebs. Der Schnuranfang wird fest am Skalenrad angeknüpft, dann die Schnur verlegt und zuletzt das Schnurende wieder zum Skalenrad geführt. Am 2. Befestigungspunkt ist die Zugfeder einzusetzen. Das Schnurende befestigt man dann am anderen Ende der Zugfeder — wobei

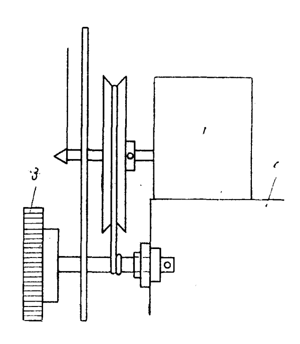
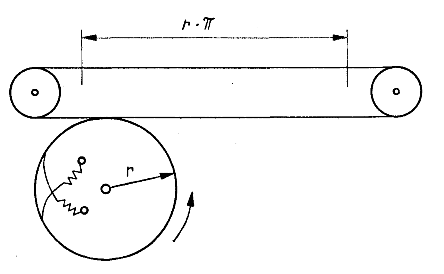


Bild 30
Skalenantrieb für eine Halbkreisskala, bei der der Zeiger auf der Drehkondensatorachse befestigt wurde; 1 — Drehkondensator, 2 — Chassis, 3 — Drehknopf

Bild 31
Skizze zur Berechnung der Zeigerweglänge für eine Linearskala



diese gespannt wird — und führt zur Vergrößerung der Reibung die Schnur wenigstens 2mal um die Antriebsachse.
Bei rechteckigen Skalen benötigt man zur Führung der Antriebsschnur mehrere Seilrollen. Der Durchmesser des Skalenrades richtet sich nach der Zeigerweglänge (Bild 31). Mit Hilfe folgender Formel kann bei gegebener Zeigerweglänge l der Durchmesser d des benötigten Skalenrades leicht errechnet werden:

$$d = \frac{2 \cdot l}{\pi}; \qquad (1)$$

d = Durchmesser des Skalenrads in cm; l = Zeigerweglänge in cm, $\pi = 3{,}14$.

1. Beispiel

Wie groß muß für eine Zeigerweglänge von l = 19 cm der Durchmesser d des Skalenrades sein?

$$d = \frac{2 \cdot 19}{3{,}14} = \frac{38}{3{,}14} \approx 12 \text{ cm}.$$

2. Beispiel

Welche Zeigerweglänge l läßt sich mit einem vorhandenen Skalenrad verwirklichen, dessen Durchmesser d = 16 cm beträgt?

Nach Formel (1) erhält man

$$l = \frac{d \cdot \pi}{2} = \frac{16 \cdot 3{,}14}{2} = 8 \cdot 3{,}14 \approx 25 \text{ cm}.$$

Bei rechteckigen Linearskalen ist es empfehlenswert, den beweglichen Zeiger mit einer Führung auf einer 3 bis 4 mm

starken Achse laufen zu lassen. Die Beschriftung der Skala erfolgt in den meisten Fällen mit schwarzer Tusche auf Zeichenkarton, weißem Kunststoff oder auf einem mit weißer Farbe gespritzten Blech. Vor der Skala befindet sich eine Schutzglasscheibe. Die Beleuchtung der Skala kann von den Seiten her, von oben oder unten erfolgen.
Im Handel sind verschiedene für den Aufbau von Geräten brauchbare Skalenantriebe erhältlich. Ebenso gibt es für Rundfunkgeräte ausgelegte Skalenscheiben in zahlreichen Ausführungen.

3.4. Lötösenleisten

Um vor allem kleineren Bauelementen, wie Widerständen und Kondensatoren, bei der Verdrahtung einen mechanisch festen Halt zu geben, bringt man entsprechende Lötösenleisten oder Lötösenplatten an (Bild 32 und Bild 33).
Bei einreihigen Lötösenleisten wird ein Widerstand zwischen einem anderen Bauelement und der Lötösenleiste angeordnet, während bei zweireihigen Lötösenplatten Widerstände und Kondensatoren an 2 gegenüberstehenden Lötösen angelötet werden. Bei der zweiten Montageart kann man bereits vor dem Einbau der Lötösenplatte eine Verdrahtung vornehmen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, in der Lötösenplatte Ausschnitte für Röhrenfassungen aufzunehmen. Es ist dann eine

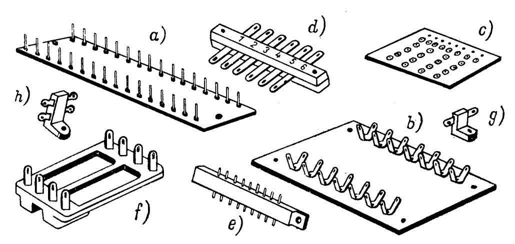


Bild 32 Verschiedene Ausführungsformen von Lötösenplatten; a — mit eingenieteten Messingstiften, b — mit Nietlötösen, c — mit Messing-Hohlnieten, d bis f — mit eingepreßten Lötanschlüssen, g und h — Lötstützpunkte

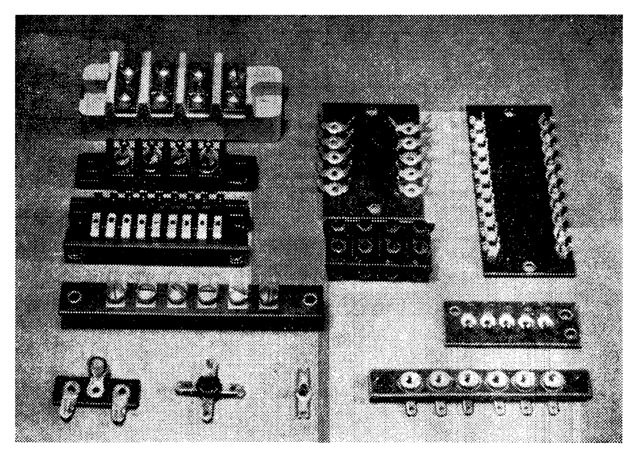


Bild 33 Verschiedene Ausführungsformen von Lötösenplatten und Anschlußleisten

starre Verdrahtung der an den Röhrenfassungen anliegenden Widerstände und Kondensatoren möglich.

Für die Herstellung der Lötösenleisten und Lötösenplatten benötigt man *Pertinax* in den Stärken von 1 bis 1,5 mm. Als Lötösen benutzt man zweiseitige Lötösen mit angedrücktem Hohlnietzapfen. Der Hohlnietzapfen wird durch eine entsprechende Bohrung gesteckt und auf einer festen Unterlage mit einem Körner fest angestaucht. Anschließend schlägt man den überstehenden Zapfenrest mit einem Hammer breit. Es ist darauf zu achten, daß die Lötöse fest in der Bohrung sitzt. Benutzt man zweiseitige Lötösen mit einer Bohrung, dann müssen zur Befestigung Hohlnieten verwendet werden.

Die Lötösen sind auf dem *Pertinax* so anzuordnen, daß sie sich nicht berühren. Der günstigste Abstand beträgt 10 mm. Werden die fertigen Lötösenleisten auf einem Metallchassis angebracht, so ist ein zweiter *Pertinax*-Streifen unterzulegen oder die Lötösenleiste auf Abstandsstücke zu setzen, da bei direkter Befestigung auf dem Metallchassis alle Lötösen durch das Metallchassis kurzgeschlossen würden. Bei besonders hochwertigen Verbindungen kann mitunter der Verlust-

widerstand von *Pertinax* bereits zu hoch sein. In diesen Fällen verwendet man entweder eine freiliegende Verdrahtung oder keramische Bauteile, die man allerdings fertig beziehen muß, weil sie sich nicht mehr bearbeiten lassen.

3.5. Gehäuse

Ein fertiggestelltes Gerät erhält durch ein geeignetes Gehäuse nicht nur ein gefälliges Aussehen, sondern es wird damit auch vor Staub und Beschädigung geschützt. Außerdem bildet ein offenstehendes Gerät stets eine Gefahrenquelle für Kinder und andere Personen, wenn sie einen spannungführenden Teil berühren.

Bei selbstgebauten Rundfunkempfängern bereitet das Gehäuse keine großen Sorgen, da man es in den meisten Fällen vor dem Baubeginn beim Fachhandel kaufen wird. Nicht ganz so einfach ist es, wenn man sehr kleine Geräte oder Kofferempfänger bauen will. Fehlt die nötige Erfahrung, so läßt man derartige Gehäuse nach eigenem Entwurf bei einem Tischler herstellen. Anschließend werden die fertigen Holzgehäuse mit passender Kunststoffolie bezogen.

Bei selbstgebauten Meßgeräten wird die Gehäusefrage schon komplizierter. Wenn eine Abstrahlung von Hochfrequenz zu erwarten ist, muß das Gehäuse aus Blech bestehen, um die Hochfrequenz entsprechend abzuschirmen. Andere Meßgeräte können ein einfaches Holzgehäuse aus 10 mm starkem Holz oder Sperrholz erhalten. Die Frontplatte weist entweder die gleichen Abmessungen auf wie das Holzgehäuse, oder sie wird etwas versenkt in das Holzgehäuse eingesetzt. Bei der einen Ausführung erfolgt die Befestigung am Holzrahmen, während bei der anderen Ausführung in den Ecken quadratische Holzklötzchen zur Befestigung angebracht werden. Gibt es für den Aufbau eines Geräts keine geeigneten Blechgehäuse zu kaufen, dann bleibt nur der Selbstbau (Bild 34). Werden keine zu großen Anforderungen an die Abschirmwirkung gestellt, so genügt ein Verkleiden des Holzgehäuseinneren mit Aluminiumfolie oder dünnem Aluminiumblech. Ist ein Blech-

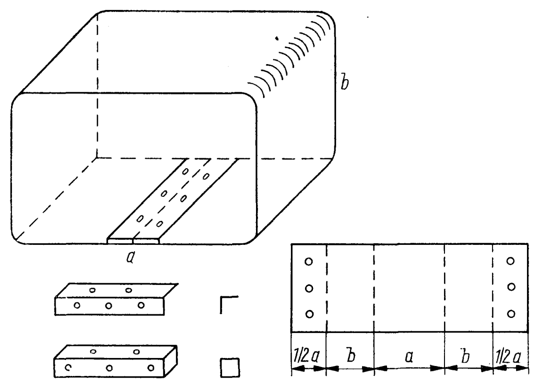


Bild 34 Selbstbau-Blechgehäuse, aus einem Blechstreifen gefertigt. Die Befestigung von Frontplatte und Rückwand kann durch Winkel- oder Vierkantstreifen erfolgen

gehäuse herzustellen, so gibt es verschiedene Möglichkeiten der Ausführung. Man kann passend zugeschnittene Blechplatten mit Winkelmaterial zu einem Gehäuse verbinden. Als Verbindungselement werden Nieten oder Schrauben verwendet. Die Befestigung der Frontplatte und der Rückwand erfolgt ebenfalls an Winkeln.

Steht eine geeignete Biegeeinrichtung zur Verfügung, so kann man die Wandung des Gehäuses aus einem entsprechend dimensionierten Blechstreifen biegen. Die beiden aufeinanderstoßenden Kanten liegen unten in der Mitte und werden durch einen Blechstreifen miteinander vernietet. Wird zur Herstellung des Gehäuses Eisenblech verwendet, so kann man die Verbindung der Gehäusewand sowie das Befestigen der Winkel für Frontplatte und Rückwand durch Punktschweißung in einer Werkstatt vornehmen lassen.

Ein Gerät, das aus mehreren Einheiten besteht (z. B. ein Amateursender), baut man in ein Kastengestell mit Einschüben ein. Die einzelnen Baugruppen werden jeweils auf einem Einschub aufgebaut. Das Kastengestell ist für die vorgesehene Anzahl der Einschübe zu dimensionieren. Die elektrische Verbindung der einzelnen Einschübe untereinander kann entweder durch starre Verdrahtung, besser jedoch durch

Steckverbindungen erfolgen, die am Einschub und am Kastengestell befestigt werden.
In einigen Fällen sind pultförmige Gehäuse erforderlich, so z. B. bei NF-Verstärkern mit mischbaren Eingängen. Auf der pultförmigen Fläche werden dann die entsprechenden Regelglieder angeordnet, während Röhren, Transformatoren und Elektrolytkondensatoren auf der waagerechten Chassisfläche Platz finden. Die notwendigen Anschlußbuchsen setzt man auf der Rückseite ein. Zur Sicherheit wird über der Chassisfläche eine Abschirmhaube angebracht. Die Herstellung des Pultes erfolgt durch Biegen, wobei Pult, waagerechtes Chassis und Rückwand aus einem Blech bestehen.
Damit sich ein in Betrieb befindliches Gerät nicht zu sehr erwärmt, muß die Rückwand zahlreiche Öffnungen aufweisen. Man ordnet am besten oben und unten einige Reihen von Bohrungen an. Dadurch kann unten frische Luft in das Innere des Gerätes strömen, und oben entweicht die erwärmte Luft.
Soll ein Gerät transportabel gestaltet werden, so bringt man bei leichteren Geräten oben auf dem Gehäuse einen Griff, bei schwereren Geräten 2 Griffe an den Seitenwänden an. Damit die Geräte die Tischplatten nicht zerkratzen, wird der Gehäuseboden mit 4 Gummifüßen versehen.

4. Die Versuchsschaltung

4.1. Versuchsaufbau für Röhrenschaltungen

Hat man eine Anzahl Bauanleitungen aus Fachzeitschriften, Büchern oder Broschüren nachgebaut, dann möchte man oft nach eigenen Wünschen ein Gerät aufbauen. Will man bei solchen eigenen Entwicklungsarbeiten Rückschläge vermeiden, so muß ein solches Vorhaben gut durchdacht werden. Zuerst legt man schriftlich fest, welche Anforderungen an das zu entwickelnde Gerät zu stellen sind. Daran schließt sich ein Literaturstudium an, um das bereits Vorhandene auf dem entsprechenden Gebiet kennenzulernen. Durch die weiteren Überlegungen kommt man dann zum Schaltungsentwurf. Dieser Schaltungsentwurf muß nun praktisch aufgebaut werden, damit man die notwendigen Messungen durchführen kann. Durch diese Messungen vergewissert man sich, ob die Schaltung den gestellten Anforderungen entspricht. Dabei werden zahlreiche Änderungen notwendig sein, ehe die endgültige Schaltung vorliegt.

Wird die Versuchsschaltung gleich auf dem für das Gerät vorgesehenen Chassis aufgebaut, so würde man bei auftretenden Änderungen das Chassis, evtl. auch die Frontplatte, verbohren. Das Gerät sähe dadurch unschön aus.

In der Praxis haben sich für solche Aufgaben spezielle Versuchschassis bzw. Versuchsbrettaufbauten bewährt. Diese sollte man zweckmäßigerweise so aufbauen, daß sie vielseitig verwendet werden können. Da man an der Schaltung oft ändert und auch zahlreiche Messungen durchführt, muß sie leicht zugänglich sein. Das erreicht man einfach durch ein senkrecht stehendes Chassis und zahlreiche Lötösenleisten. Bild 35 zeigt einen solchen Versuchsbrettaufbau für Schaltungen mit Elektronenröhren. Das Chassis ist vorgesehen für maximal 4 Miniaturröhren. Die auf dem Bild im Vordergrund gezeigten Bauelemente (Drehkondensatoren, Potentiometer, Schalter)

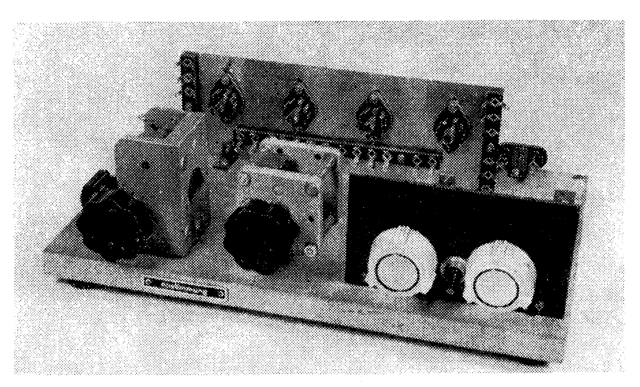


Bild 35 Versuchsbrettaufbau für Schaltungen mit Elektronenröhren

werden entsprechend der zu probierenden Schaltung eingebaut. In dem gezeigten Beispiel dient der Versuchsbrettaufbau für die Schaltung eines Geradeausempfängers. Über eine Klemmleiste führt man die Betriebsspannungen zu.

Die Variationsmöglichkeiten sind sehr zahlreich, so daß eine universelle Anwendung des Versuchsbrettaufbaues möglich ist. Auf alle Fälle wird viel Zeit, Arbeit und Ärger gespart.

4.2. Versuchsaufbau für Transistorschaltungen

Auch beim Basteln mit Transistoren bewährt sich der Versuchsbrettaufbau. Das vor allem deshalb, weil die Streuwerte von Transistoren wesentlich größer sind als die von Elektronenröhren. Das führt unter Umständen dazu, daß vorhandene Transistoren bei Anwendung in einer Bauanleitung schlechte Ergebnisse bringen, obwohl man sich genau an die Wertangaben der einzelnen Bauelemente gehalten hat. Eine Transistorschaltung sollte man deshalb immer erst versuchsweise aufbauen.

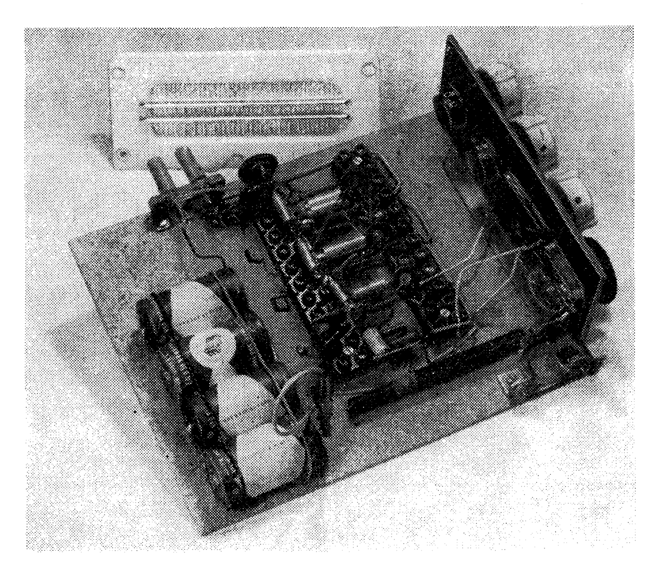


Bild 36 Praktische Ausführung eines Versuchsbrettaufbaues für Transistorschaltungen

Beim Basteln mit Transistoren hat sich die in Bild 36 gezeigte Brettschaltung bewährt. Auf einer Grundplatte aus Preßspan mit den Abmessungen 200×300 mm werden 2 12polige Klemmleisten befestigt sowie eine senkrecht stehende *Pertinax*-Platte für andere Bauelemente. Eine Versuchsschaltung mit Transistoren kann nun durch einfache Schraubverbindungen hergestellt werden. Lötverbindungen sind nur noch wenige notwendig. Der Vorteil einer solchen Brettschaltung ist vor allem darin zu sehen, daß durch einfaches Auswechseln der Widerstände und Kondensatoren die Schaltung eines Geräts optimal bemessen werden kann. Die Stromversorgung erfolgt durch Batterien.

Auch eine Lochrasterplatte, wie sie Bild 37 zeigt, eignet sich gut für den Versuchsaufbau von Transistorschaltungen. Die Platte wird aus 2 bis 3 mm starkem *Pertinax* hergestellt. Der

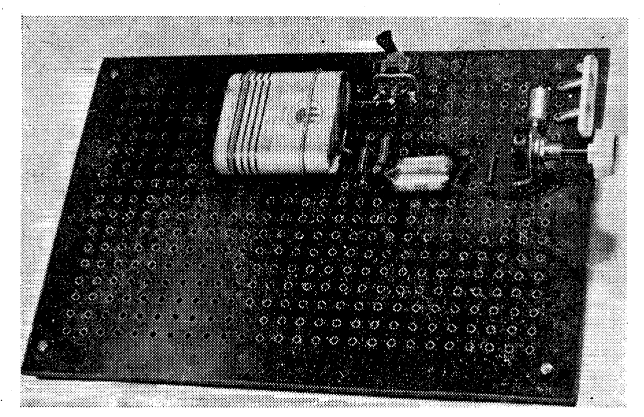


Bild 37 Ansicht einer Lochrasterplatte für den Aufbau von Transistorversuchsschaltungen

Lochabstand ist 10 mm, der Lochdurchmesser 3 mm. Die Anschlüsse der Bauelemente werden hindurchgesteckt, die Verdrahtung erfolgt auf der Rückseite der Lochrasterplatte.

5. Wie berechnen und wickeln wir Spulen

5.1. Hochfrequenzspulen

Die Abstimmung eines Empfängers oder Senders auf eine bestimmte Frequenz erfolgt mit Hilfe von Schwingkreisen. Ein Schwingkreis besteht aus der Parallelschaltung einer Spule L und eines Kondensators C (Bild 38).

Wenn der Schwingkreis in seiner Resonanzfrequenz f veränderbar sein soll, so muß eine der beiden Größen variabel sein. Läßt sich mit Hilfe eines verschiebbaren HF-Eisenkerns die Induktivität der Spule L verändern, so spricht man von einer Induktivitätsabstimmung. Weitaus gebräuchlicher ist allerdings die Kapazitätsabstimmung, die mit einem Drehkondensator vorgenommen wird. Drehkondensatoren sind in verschiedenen Ausführungsformen im Handel erhältlich. Will man keinen fertig beschalteten Spulensatz kaufen, so müssen die für einen bestimmten Frequenzbereich erforderlichen Daten der HF-Spulen errechnet werden.

Die Resonanzfrequenz f eines Schwingkreises wird mit Hilfe der *Thomson*schen Gleichung berechnet:

$$f = \frac{1}{2\,\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}\,; \qquad (2)$$

f in Hz, L in H, C in F.

Da diese Einheiten für den praktischen Gebrauch zu groß sind, gelten folgende entsprechend zugeschnittene Größengleichungen:

Bild 38
Schaltung eines Parallelschwingkreises

$$f = \frac{5030}{\sqrt{L \cdot C}}, \tag{3}$$

f in kHz, L in mH, C in pF;

$$f = \frac{159\,200}{\sqrt{L \cdot C}}, \tag{4}$$

f in kHz, L in μH, C in pF;

$$f = \frac{5{,}03}{\sqrt{L \cdot C}}, \tag{5}$$

f in MHz, L in mH, C in pF;

$$f = \frac{159{,}2}{\sqrt{L \cdot C}}, \tag{6}$$

f in MHz, L in μH, C in pF.

Wird nach der Größe der Induktivität L einer Spule gefragt für eine bestimmte Resonanzfrequenz f bei einer vorhandenen Kapazität C, so ergeben sich folgende Gleichungen:

$$L = \frac{253 \cdot 10^5}{f^2 \cdot C}, \tag{7}$$

L in mH, f in kHz, C in pF;

$$L = \frac{25{,}3}{f^2 \cdot C}, \tag{8}$$

L in mH, f in MHz, C in pF;

$$L = \frac{253 \cdot 10^8}{f^2 \cdot C}, \tag{9}$$

L in μH, f in kHz, C in pF;

$$L = \frac{25\,300}{f^2 \cdot C}, \tag{10}$$

L in μH, f in MHz, C in pF.

Soll die Größe der Kapazität C für eine bestimmte Resonanzfrequenz f bei einer vorhandenen Induktivität L berechnet werden, so sind folgende Gleichungen zu verwenden:

$$C = \frac{253 \cdot 10^5}{f^2 \cdot L}, \tag{11}$$

C in pF, f in kHz, L in mH;

$$C = \frac{25,3}{f^2 \cdot L}, \qquad (12)$$

C in pF, f in MHz, L in mH;

$$C = \frac{253 \cdot 10^8}{f^2 \cdot L}, \qquad (13)$$

C in pF, f in kHz, L in μH;

$$C_{[pF]} = \frac{25\,300}{f^2 \cdot L}, \qquad (14)$$

C in pF, f in MHz, L in μH.

Einige Beispiele sollen die Anwendung dieser Gleichungen erläutern.

1. Beispiel

Welche Resonanzfrequenz f hat ein Schwingkreis mit den Werten L = 2 mH und C = 500 pF?

Mit Hilfe von Gl. (3) erhält man

$$f = \frac{5030}{\sqrt{2 \cdot 500}} = \frac{5030}{\sqrt{1000}} = \frac{5030}{31,6} \approx 159 \text{ kHz}.$$

2. Beispiel

Welche Resonanzfrequenz f weist ein Schwingkreis mit den Werten L = 4 μH und C = 40 pF auf?

Mit Hilfe von Gl. (6) erhält man

$$f = \frac{159,2}{\sqrt{4 \cdot 40}} = \frac{159,2}{\sqrt{160}} = \frac{159,2}{12,6} \approx 12,6 \text{ MHz}.$$

3. Beispiel

Mit einer Kapazität von C = 300 pF soll ein Schwingkreis mit der Resonanzfrequenz von f = 800 kHz aufgebaut werden. Wie groß muß die Induktivität L der Spule sein?

Mit Hilfe von Gl. (7) erhält man

$$L = \frac{253 \cdot 10^5}{800^2 \cdot 300} = \frac{253 \cdot 10^5}{64 \cdot 10^4 \cdot 30 \cdot 10^1} = \frac{253}{64 \cdot 30}$$

$$= \frac{253}{1920} \approx 0,132 \text{ mH}.$$

4. Beispiel

Mit einer Kapazität von C = 20 pF soll ein Schwingkreis mit der Resonanzfrequenz von f = 28 MHz aufgebaut werden. Wie groß muß die Induktivität L der Spule sein?

Mit Hilfe von Gl. (10) erhält man

$$L = \frac{25\,300}{28^2 \cdot 20} = \frac{25\,300}{784 \cdot 20} = \frac{2530}{784 \cdot 2} = \frac{2530}{1568} \approx 1{,}61\,\mu H.$$

5. Beispiel

Mit einer Induktivität von L = 0,2 mH soll ein Schwingkreis mit der Resonanzfrequenz von f = 500 kHz aufgebaut werden. Wie groß muß die Kapazität C des Kondensators sein?

Mit Hilfe von Gl. (11) erhält man

$$C = \frac{153 \cdot 10^5}{500^2 \cdot 0{,}2} = \frac{253 \cdot 10^5}{25 \cdot 10^4 \cdot 0{,}2} = \frac{2530}{25 \cdot 0{,}2} = \frac{2530}{5} \approx 506 \text{ pF}.$$

6. Beispiel

Mit einer Induktivität von L = 20 μH soll ein Schwingkreis mit der Resonanzfrequenz von f = 3,5 MHz aufgebaut werden.

Wie groß muß die Kapazität C des Kondensators sein?

Mit Hilfe von Gl. (14) erhält man

$$C = \frac{25\,300}{3{,}5^2 \cdot 20} = \frac{25\,300}{12{,}25 \cdot 20} = \frac{2530}{12{,}25 \cdot 2} = \frac{2530}{24{,}5} \approx 103 \text{ pF}.$$

Bei der Anwendung der Kapazitätsabstimmung ist die Größe der Kapazität C durch den verwendeten Drehkondensator gegeben, genauso der interessierende Frequenzbereich, den der Empfänger umfassen soll. Möchte man sich die HF-Spule selbst herstellen, so muß mit Hilfe der Gl. (7) bis Gl. (10) die Größe der Induktivität L berechnet werden. Man geht dabei so vor, daß die Induktivität L für die Bereichsanfangsfrequenz berechnet wird; demzufolge muß man für die Kapazität die Endkapazität des Drehkondensators einsetzen. Ist der überstrichene Frequenzbereich nach Ausführung der Schaltung zu groß, so muß man den Kapazitätsbereich des Drehkondensators elektrisch einengen, z. B. durch Reihen- und Parallel-

schaltung von Kondensatoren. Auf die äußerst umfangreiche Berechnung derartiger *Bandspreizschaltungen* kann jedoch nicht eingegangen werden. Derartige Unterlagen sind in der entsprechenden speziellen Fachliteratur zu finden. Hat man die Größe der Induktivität L bestimmt, so ist noch die Windungszahl w zu errechnen, die ein gewählter HF-Eisenkern erhalten muß, damit eine Spule mit der errechneten Induktivität L entsteht. Wird zum Aufbau der Spule ein HF-Eisenkern verwendet, so gehen die Form des HF-Eisenkerns und die Eigenschaften des HF-Eisens in die Rechnung ein. Um einfache Verhältnisse zu schaffen, werden Form und Eigenschaften des HF-Eisenkerns in der *Kernkonstante* K_1 zusammengefaßt. Die Kernkonstante K_1, auch als *Kernfaktor* bezeichnet, wird für verschiedene HF-Eisenkerne in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 1 Kernkonstante für verschiedene HF-Eisenkerne

Kernform	Kernfaktoren	
	K_1	K_2
Siemens-Haspelkern	154	4,81
Siemens-H-Kern	136	4,3
Siemens-Rollenkern	146	4,62
Allei-Einheitsspule	161	5,1
MV 311	164	5,2
Dralowid-Würfelspule	177	5,6
Draloperm-Topfkern	136	4,3
Görler F 201	167	5,3
Görler F 202	152	4,8
Görler F 272	170	5,4

Die Gleichung für die Berechnung der Windungszahl lautet dann

$$w = K_1 \sqrt{L} \qquad (15)$$

oder

$$w = K_2 \sqrt{L}. \qquad (16)$$

Während Gl. (15) für Induktivitätsangaben in mH verwendet wird, rechnet man mit Gl. (16) bei Induktivitätsangaben in μH.

Zwischen den beiden Kernfaktoren K_1 und K_2 besteht folgende Beziehung

$$K_1 = K_2 \sqrt{10^3} = K_2 \sqrt{1000}\,. \tag{17}$$

In vielen Fällen wird in den Informationsblättern der Industrie für HF-Eisenkerne die Induktivitätskonstante A_L angegeben. Das ist die Induktivität einer Windung, die auf dem entsprechenden Kern aufgebracht wird. Zur Berechnung der Windungszahl lautet dann die Gleichung

$$w = \sqrt{\frac{L}{A_L}}\,; \tag{18}$$

L in μH, A_L in μH.

Die Beziehung zwischen Kernfaktor und Induktivitätskonstante lautet

$$A_L = \frac{1}{K_2^2}\,. \tag{19}$$

7. Beispiel

Mit einem *Siemens*-Haspelkern, dessen Kernfaktor $K_1 = 154$ beträgt, soll eine Induktivität von L = 0,2 mH verwirklicht werden. Wieviel Windungen müssen auf den Spulenkörper aufgebracht werden?

Mit Hilfe von Gl. (15) erhält man

$$w = 154 \sqrt{0{,}2} = 154 \cdot 0{,}446 \approx 69 \text{ Wdg.}$$

8. Beispiel

Mit einem HF-Eisenkern *Görler F 202*, dessen Kernfaktor $K_2 = 4{,}8$ beträgt, soll eine Induktivität von L = 40 μH verwirklicht werden. Wieviel Windungen müssen auf den Spulenkörper aufgebracht werden?

Mit Hilfe von Gl. (16) erhält man

$$w = 4{,}8 \sqrt{40} = 4{,}8 \cdot 6{,}3 \approx 30 \text{ Wdg.}$$

9. Beispiel

Für einen HF-Eisenkern wird eine Induktivitätskonstante von $A_L = 39 \cdot 10^{-3}$ μH angegeben. Wieviel Windungen muß die Spule bei einer Induktivität von L = 80 μH enthalten?

Mit Hilfe von Gl. (18) erhält man

$$w = \sqrt{\frac{80}{39 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{80 \cdot 10^{3}}{39}} = \sqrt{2050} \approx 45 \text{ Wdg.}$$

Will man einen HF-Eisenkern für den Bau einer Spule verwenden, von dem weder der Kernfaktor K_1 bzw. K_2 noch die Induktivitätskonstante A_L bekannt ist, so kann man diese Werte wie nachstehend beschrieben feststellen.

Man bringt auf die Spule 100 Wdg. auf und mißt mit einem Induktivitätsmeßgerät (L-Messer) die Induktivität der HF-Spule. Aus folgenden Gleichungen kann man dann die benötigten Werte errechnen

$$K_1 = \frac{100}{\sqrt{L}}, \tag{20}$$

L in mH.

$$K_2 = \frac{100}{\sqrt{L}}, \tag{21}$$

L in μH.

$$A_L \cdot 10^{-3} = \frac{L}{10}, \tag{22}$$

L in μH.

Im Kurzwellen- und UKW-Bereich werden vorwiegend einlagige Zylinderspulen (Bild 39) auf keramischem Spulenträger benutzt. Für die Berechnung derartiger Spulen kann man folgende Gleichung anwenden:

$$L = \frac{D^2 \cdot w^2}{100\,l + 45\,D}; \tag{23}$$

L in μH, D = Spulendurchmesser in cm, l = Wicklungslänge in cm.

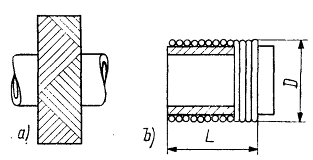


Bild 39
Wicklungsausführung von HF-Spulen; a — Kreuzwickelspule, b — einlagige Zylinderspule

10. Beispiel

Welche Induktivität hat eine Spule mit 40 Wdg., wenn Spulendurchmesser 35 mm und Spulenlänge 40 mm betragen? Mit Hilfe von Gl. (23) erhält man

$$L = \frac{3{,}5^2 \cdot 40^2}{100 \cdot 4 + 45 \cdot 3{,}5} = \frac{12{,}25 \cdot 1600}{400 + 157{,}5} = \frac{19600}{557{,}6} = 35{,}2\ \mu\mathrm{H}\,.$$

Die meisten HF-Eisenkernspulen haben einen Spulenkörper aus Kunststoff, der in einzelne Kammern unterteilt ist. Das Aufbringen der Drahtwindungen bereitet dann keine Schwierigkeiten. Der Wicklungsanfang wird durch die darüberliegenden Windungen festgehalten, so daß sich oft ein besonderes Abbinden erübrigt. Anders ist es beim Wicklungsende. Dieses muß mit Nähseide, gummiertem Faden (Klebfaden), Leukoplast oder Klebstoff festgelegt werden. Bei einlagigen Zylinderspulen führt man am einfachsten Wicklungsanfang und -ende durch 2 Bohrungen des Spulenkörpers nach dem Spuleninnenraum. Ist das nicht möglich, so werden beide Enden durch Bandschlaufen festgelegt (Bild 40). Zu diesem Zweck schneidet man aus dünner Kunststoffolie oder Leinwand 2 schmale Streifen von etwa 5×50 mm Länge. Für den Wicklungsanfang wird einer der Streifen in der Mitte gefaltet und dann der Spulendraht durchgeführt. Die ersten 6 bis 8 Wdg. sind nun fest über diesen Streifen zu legen, dann läßt man den Streifenrest nach außen stehen und wickelt auf dem Spulenkörper weiter. Beim Wicklungsende verfährt man umgekehrt. Ein Stück des Streifenendes läßt man nach außen stehen, während die letzten 6 bis 8 Wdg. fest über den Streifen gewickelt werden. Das Spulenende wird dann durch die Bandschlaufe geführt. Zum Schluß müssen die nach außen stehenden Streifenenden fest angezogen und dadurch die Wicklungsenden festgelegt werden. Ist die Spule fertig und entspricht sie

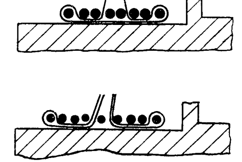
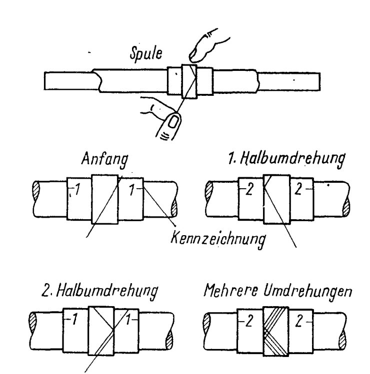


Bild 40
Festlegen der Wicklungsenden von einlagigen Zylinderspulen; a — bei kurzen Spulenlängen, b — bei größeren Spulenlängen

Bild 41
Wickelschema der Kreuzwickelspule



den gewünschten Werten, so kann man sie noch mit *Duosan* bestreichen, damit ihre Windungen starr festliegen.
Eine besondere Form der HF-Spule ist die Kreuzwickelspule (Bild 41). Sie wird auf besonderen Spulenwickelmaschinen (Bild 42) gewickelt. Im UKW-Bereich verwendet man vorteilhaft Luftspulen, die man leicht selbst herstellen kann (Bild 43).

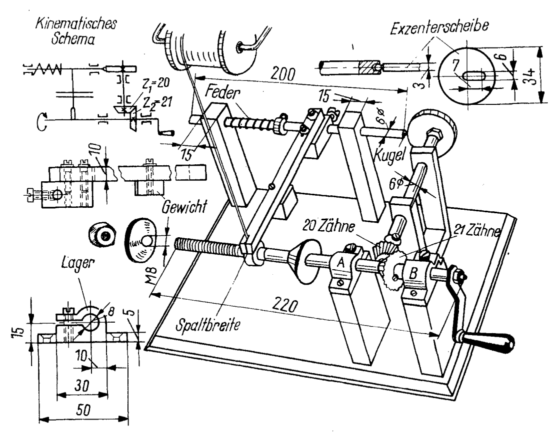
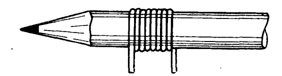


Bild 42 Einfache Kreuzwickelmaschine für den Selbstbau

Bild 43 Freitragende Luftspulen für den KW- und UKW-Bereich werden über einen passenden Rundstab gewickelt, z. B. über einen Bleistift



5.2. Drosseln

Eisendrosseln mit Luftspalt werden als Siebdrosseln in der Gleichrichterschaltung des Netzteiles verwendet. Ihre charakteristischen Kenndaten sind vor allem die Größe der Induktivität L, die maximale Strombelastung I und der Gleichstromwiderstand R. Die Größe der Induktivität L hängt vor allem von der Windungszahl w, dem verwendeten Eisenkernquerschnitt Q_{Fe} und der verwendeten Luftspaltlänge δ ab. Die Strombelastung I wird durch die Stärke d des verwendeten Kupferdrahtes bestimmt, während für den Gleichstromwiderstand R der Durchmesser d und die verwendete Drahtlänge l maßgebend sind.

Die genaue Berechnung einer Siebdrossel stößt auf einige Schwierigkeiten, so daß man auch in der Praxis mit Faustformeln rechnet und dann durch Messung der einzelnen Größen die endgültigen Werte festlegt. Wenn die geforderte Induktivität L, die Luftspaltlänge δ und die Strombelastung I gegeben sind, kann zur Überschlagsrechnung folgender Weg benutzt werden. Man geht davon aus, daß im Luftspalt eine Induktion von ungefähr $B_L = 7000$ Gauß ($1\ G = 10^{-4}\ Vs/m^2$) herrschen soll. Dann ergibt sich die Windungszahl

$$w = \frac{0{,}8 \cdot \delta \cdot B_L}{I}; \qquad (24)$$

δ in cm, B_L in Vs/m^2, I in A.

Den Kernquerschnitt Q_{Fe} des Eisenkerns erhält man dann zu

$$Q_{Fe} = \frac{1{,}1 \cdot L \cdot \delta \cdot 10^8}{0{,}4\,\pi \cdot w^2}; \qquad (25)$$

Q_{Fe} in cm^2.

Der Durchmesser des zu benutzenden Kupferdrahtes wird errechnet für eine Stromdichte $i = 2{,}55\ A/mm^2$

$$d = 0{,}7\sqrt{I}; \qquad (26)$$

d in mm.

11. Beispiel

Eine Siebdrossel soll bei einer Stromstärke von $I = 50$ mA eine Induktivität von $L = 40$ H haben. Die Luftspaltlänge δ wird mit $\delta = 0{,}5$ mm gewählt.

Windungszahl

$$w = \frac{0{,}8 \cdot 0{,}05 \cdot 7000}{0{,}05} = 0{,}8 \cdot 7000 = 5600 \text{ Wdg.}$$

Eisenquerschnitt

$$Q_{Fe} = \frac{1{,}1 \cdot 40 \cdot 0{,}05 \cdot 10^8}{0{,}4\,\pi \cdot 56^2 \cdot 10^4} = \frac{110 \cdot 40 \cdot 5}{1{,}26 \cdot 3136}$$

$$= \frac{22\,000}{3950} \approx 5{,}6 \text{ cm}^2 .$$

Drahtdurchmesser

$$d = 0{,}7 \sqrt{0{,}05} = 0{,}7 \cdot 0{,}224 \approx 0{,}16 \text{ mm} .$$

Der Kernquerschnitt entspricht ungefähr einem Blechpaket *M 65/27* oder *EI/66/22* (s. Abschn. 8.5.).

Da es in der Bastelpraxis nicht so sehr auf die genaue Einhaltung der Werte der Siebdrossel ankommt, verwendet man die in den Fachgeschäften angebotenen Siebdrosseln, z. B. die der Fa. *G. Neumann*, Creuzburg (Tabelle 2).

Tabelle 2 Einige der wichtigsten Ausführungen von Siebdrosseln

Typ	Gleichstrom in mA	Widerstand in Ω	Induktivität in H
D 55/60	60	500	15
D 65/100	100	250	12
D 65/140	140	200	10
D 85/100	100	450	50
D 85/140	140	280	25

5.3. Transformatoren

Netztransformatoren sind ebenfalls in zahlreichen Ausführungsformen im Handel erhältlich. Will man einen Netztransformator selbst berechnen, so nimmt man als Grundlage die Summe der von den Sekundärwicklungen abgegebenen

Leistungen plus einen Zuschlag, der den Wirkungsgrad berücksichtigt.

$$P_p \approx 1{,}18 \cdot P_s\ ; \qquad (27)$$

P_p — Primärleistung in VA,
P_s — Summe der Sekundärleistungen.

Die Summe der Sekundärleistungen ergibt sich aus der Addition der einzelnen Produkte Spannung mal Strom in VA. Mit Hilfe der errechneten Primärleistung erhält man dann den benötigten Eisenquerschnitt (Bild 44) zu

$$Q_{Fe} \approx \sqrt{P_p}\ ; \qquad (28)$$

Q_{Fe} in cm^2.

Für die Primärwicklung mit einer Spannung U ergibt sich die Windungszahl zu

$$w_p = 38 \cdot \frac{U}{Q_{Fe}} \qquad (29)$$

und für die Sekundärwicklung mit einer Spannung U die Windungszahl zu

$$w_s = 42 \cdot \frac{U}{Q_{Fe}}. \qquad (30)$$

Für eine Stromdichte von $i = 2{,}55\ A/mm^2$ erhält man die Drahtstärke wieder zu

$$d \approx 0{,}7\sqrt{I}\ ;$$

d in mm.

Bei der Berechnung des Eisenquerschnittes muß beachtet werden, daß der errechnete Wert stets auf den nächst höheren, genormten Wert eines Blechpaketes aufzurunden ist.

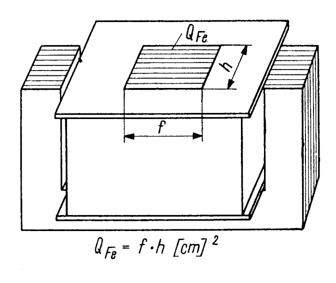


Bild 44
Zur Bestimmung des Kernquerschnitts von Transformatorkernen

12. Beispiel

Für einen Empfänger wird ein Netztransformator benötigt, der eine Zweiweganodenwicklung von 250 V/75 mA, eine Heizwicklung von 6,3 V/0,6 A und eine Heizwicklung von 6,3 V/2,5 A aufweist.

Summe der *Sekundärleistungen*

$$\begin{aligned}
&\text{a)}\ 250\ \text{V} \cdot 0{,}075\ \text{A} \approx 18{,}8\ \text{VA}\\
&\text{b)}\ 6{,}3\ \text{V} \cdot 0{,}6\ \text{A} \approx 3{,}8\ \text{VA}\\
&\text{c)}\ 6{,}3\ \text{V} \cdot 2{,}5\ \text{A} \approx 15{,}7\ \text{VA}\\
&\Sigma P_s \quad 38{,}3\ \text{VA}
\end{aligned}$$

Primärleistung beträgt nach Gl. (27):

$$P_p = 1{,}18 \cdot 38{,}3 \approx 45{,}2\ \text{VA}\,.$$

Eisenquerschnitt nach Gl. (28):

$$Q_{Fe} \approx \sqrt{45{,}2} \approx 6{,}73\ \text{cm}^2,$$

gewählter Eisenkern M 74/32 mit $Q_{Fe} = 7{,}4\ \text{cm}^2$ (s. Abschn. 8.5.).

Windungszahlen nach Gl. (29) und Gl. (30):

$$w_s = 38 \cdot \frac{220}{7{,}4} \approx 1130\ \text{Wdg.}$$

$$w_s = 42 \cdot \frac{250}{7{,}4} \approx 1420\ \text{Wdg.}$$

$$w_s = 42 \cdot \frac{6{,}3}{7{,}4} \approx 36\ \text{Wdg.}$$

Primärstromstärke

$$I_p = \frac{P_p}{220} = \frac{45{,}2}{220} \approx 0{,}206\ \text{A}$$

Drahtstärken

$$d \approx 0{,}7\sqrt{0{,}206} \approx 0{,}7 \cdot 0{,}454 \approx 0{,}32\ \text{mm}$$

$$d \approx 0{,}7\sqrt{0{,}075} \approx 0{,}7 \cdot 0{,}273 \approx 0{,}19\ \text{mm}$$

$$d \approx 0{,}7\sqrt{0{,}6} \approx 0{,}7 \cdot 0{,}775 \approx 0{,}55\ \text{mm}$$

$$d \approx 0{,}7\sqrt{2{,}5} \approx 0{,}7 \cdot 1{,}58 \approx 1{,}10\ \text{mm}$$

Zusammenstellung

	w_p	w_{s1}	w_{s2}	w_{s3}	
Windungen	1130	2×1420	36	36	Wdg.
Drahtstärke	0,32	0,19	0,55	1,10	mm

Im Niederfrequenzbereich bezeichnet man den Transformator allgemein als Übertrager und verwendet ihn zur Widerstandsanpassung. Der an der Sekundärseite angeschlossene Widerstand wird dabei mit dem Quadrat des Übersetzungsverhältnisses auf die Primärseite transformiert.

$$R_{prim} = ü^2 \cdot R_{sek} \; ; \qquad (31)$$

R_{prim} — primärseitiger Widerstand in Ω,

R_{sek} — sekundärseitiger Widerstand in Ω,

ü — Verhältnis der primären zur sekundären Windungszahl.

Den Frequenzbereich des Übertragers bestimmt die Größe der Primärinduktivität und die auftretende Streuung. Da man bei Niederfrequenzübertragern mit wesentlich geringeren Felddichten arbeitet, wird der notwendige Eisenquerschnitt für eine bestimmte zu übertragende Leistung größer als bei Netztransformatoren bemessen. Von den zahlreich dafür angegebenen Gleichungen soll die nachstehend genannte verwendet werden.

Eisenquerschnitt

$$Q_{Fe} = 20 \sqrt{\frac{P}{f_u}} \; ; \qquad (32)$$

Q_{Fe} in cm^2, P — zu übertragende Eingangsleistung in W, f_u — noch zu übertragende untere Grenzfrequenz in Hz.

Ausgangsübertrager dienen zur Anpassung der niederohmigen Lautsprecherspule an den Ausgangswiderstand der Endröhre. Da bei der Eintaktschaltung der Anodengleichstrom durch die Primärspule des Ausgangsübertragers fließt, muß zur Vermeidung einer Gleichstromvormagnetisierung ein Luftspalt vorgesehen werden. Meist verwendet man den in der Normung von Transformatorblechen angegebenen Luftspalt von 0,3 bis 2 mm. Üblich sind Werte von 0,5 oder 1 mm. Die notwendige

Luftspaltlänge für einen bestimmten Eisenquerschnitt wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$\delta = 0{,}4 \sqrt{Q_{Fe}}\ ; \tag{33}$$

δ in mm, Q_{Fe} in cm^2.

Damit bei der unteren Grenzfrequenz f_u der Abfall gering ist wird die Primärinduktivität L wie folgt bemessen:

$$L = \frac{207 \cdot R_a}{f_u}\ ; \tag{34}$$

L in H, R_a in kΩ, f_u in Hz.

Für den gewählten Eisenquerschnitt Q_{Fe} ergibt sich für die Primärinduktivität L eine Windungszahl von

$$w_1 = 1000 \sqrt{\frac{10 \cdot L \cdot \delta}{Q_{Fe}}}\ ; \tag{35}$$

L in H, δ in mm, Q_{Fe} in cm^2.

Die Wurzel aus dem Verhältnis des Ausgangswiderstandes R_a der Endröhre zu dem Schwingspulenwiderstand R_L des Lautsprechers gibt das Übersetzungsverhältnis

$$ü = \sqrt{\frac{R_a}{R_L}}\ . \tag{36}$$

Da das Übersetzungsverhältnis ü gleichzeitig dem Verhältnis der Windungszahlen entspricht,

$$ü = \frac{w_1}{w_2}, \tag{37}$$

erhält man die sekundäre Windungszahl w_2 zu

$$w_2 = w_1 \sqrt{\frac{R_L}{R_a}}\ . \tag{38}$$

Bei der Berechnung der Drahtstärke der Primärwicklung ist darauf zu achten, daß durch die Primärwicklung neben dem Anodengleichstrom I_a ein Anodenwechselstrom J_a fließt. Bei voller Aussteuerung erhält man den Anodenwechselstrom J_a zu

$$J_a = \sqrt{\frac{10^3\, P}{R_a}}\ ; \tag{39}$$

J_a in mA, P in W, R_a in kΩ.

Die Drahtstärke ist also bei der Primärwicklung für die Stromstärke

$$I_{ges} = I_a + J_a \tag{40}$$

zu bemessen. Die Drahtstärke erhält man dann nach Gl. (26). In der Sekundärwicklung fließt lediglich ein Wechselstrom, den man mit nachstehender Gl. (41) errechnet:

$$J_L = \sqrt{\frac{P}{R_L}}\,; \tag{41}$$

J_L in A, P in W, R_L in Ω.

13. Beispiel

Eine Endpentode *EL 84* wird in Eintakt-A-Betrieb betrieben. Dabei treten folgende Betriebswerte auf: $I_a = 48$ mA, $P = 5{,}3$ W und $R_a = 5{,}5$ kΩ. Der zu verwendende Lautsprecher *L 2053 PBK* (VEB *Funkwerk* Leipzig) hat einen Schwingspulenwiderstand von $R_L = 6\,\Omega$ und einen Frequenzbereich von 60 Hz bis 15 kHz. Die untere Grenzfrequenz wird mit $f_u = 50$ Hz gewählt.

Welche Werte muß der zur Anpassung notwendige Ausgangsübertrager haben?

Eisenquerschnitt

$$Q_{Fe} = 20\sqrt{\frac{5{,}3}{50}} = 20\sqrt{0{,}106} = 20 \cdot 0{,}326 = 6{,}52\ \text{cm}^2.$$

Der nächste genormte Eisenkernquerschnitt der EI-Reihe ist *EI 78* mit $Q_{Fe} = 6{,}8$ cm².

Luftspaltlänge

$$\delta = 0{,}4\sqrt{6{,}8} = 0{,}4 \cdot 2{,}61 \approx 1\ \text{mm}\,.$$

Da beim EI-Kern der Luftspalt im Eisenweg 2mal auftritt, wird nur eine Isolierstoffzwischenlage von 0,5 mm Stärke eingelegt.

Primärinduktivität

$$L = \frac{207 \cdot 5{,}5}{50} = 207 \cdot 0{,}11 \approx 22{,}8\ \text{H}\,;$$

Primärwindungszahl

$$w_1 = 1000 \sqrt{\frac{10 \cdot 22{,}8 \cdot 1}{6{,}8}} = 1000 \sqrt{33{,}5}$$

$$= 1000 \cdot 5{,}8 = 5800 \text{ Wdg.} ;$$

Übersetzungsverhältnis

$$ü = \sqrt{\frac{5500}{6}} = \sqrt{916} \approx 30{,}3 ;$$

Sekundärwindungszahl

$$w_2 = \frac{w_1}{ü} = \frac{5800}{30{,}3} = 192 \text{ Wdg.} ;$$

Anodenwechselstrom

$$J_a = \sqrt{\frac{5300}{5{,}5}} = \sqrt{964} \approx 31 \text{ mA} ;$$

primärer Gesamtstrom

$$I_{ges} = 48 + 31 = 79 \text{ mA} ;$$

primäre Drahtstärke

$$d_1 = 0{,}7 \sqrt{0{,}08} = 0{,}7 \cdot 0{,}283 \approx 0{,}20 \text{ mm} ;$$

sekundärer Wechselstrom

$$J_L = \sqrt{\frac{5{,}3}{6}} = \sqrt{0{,}88} \approx 0{,}94 \text{ A} ;$$

sekundäre Drahtstärke

$$d_2 = 0{,}7 \sqrt{0{,}94} = 0{,}7 \cdot 0{,}97 \approx 0{,}70 \text{ mm} .$$

Zusammenstellung

Kern:	EI 78 mit 2×0,5 mm Luftspalt
primär:	5800 Wdg. 0,2-CuL
sekundär:	192 Wdg. 0,7-CuL

Der Eisenkern eines Transformators besteht aus einzelnen Blechen in den Stärken von 0,35 oder 0,5 mm. Als Transformatorblech wird meist Dynamoblech III oder IV verwendet, für Spezialzwecke dagegen dünneres Blech mit bedeutend größerer Permeabilität (z. B. Mümetall). Die Transformator-

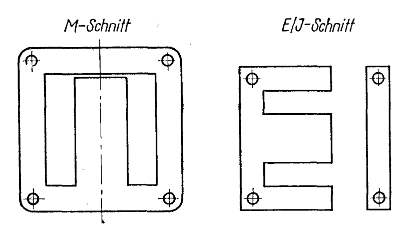


Bild 45 Schnittformen von Transformatorblechen für Transformatoren, Übertrager und Eisendrosseln

bleche sind einseitig lackiert oder mit einer Seidenpapierschicht bedeckt.

Transformatorbleche weisen verschiedene Formen auf. Am bekanntesten sind der M-Schnitt und der EI-Schnitt (Bild 45). Der M-Schnitt besteht nur aus einem Teil. Der mittlere Schenkel ist an einem Ende abgetrennt, damit das Blech auf den Spulenkörper geschoben werden kann. Der EI-Kern ist wesentlich wirtschaftlicher, sowohl in der Herstellung als auch in der Verarbeitung. Er besteht aus dem dreischenkligen E-Schnitt und dem Joch als I-Schnitt. Die Herstellung erfolgt durch ein abfalloses Stanzen, indem durch 2 aneinandergestellte „E" aus den Fensterflächen 2 „I", die benötigten Joche, entstehen. Das Stopfen des EI-Kernes ist ebenfalls einfach. Soll sich kein Luftspalt bilden, so wird wechselseitig geschichtet. Durch eine Isolierstoffzwischenlage zwischen E-Kern und Joch kann jeder beliebige Luftspalt eingestellt werden. Allerdings ist beim EI-Schnitt zu beachten, daß er

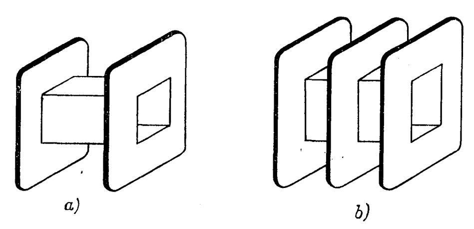
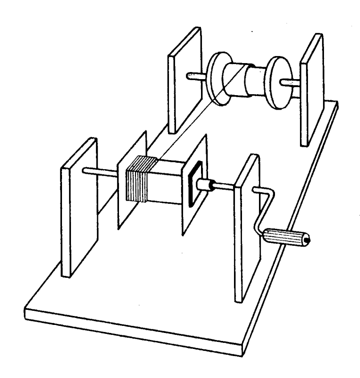


Bild 46 Spulenkörper für Eisenblechkerne; a — normaler Spulenkörper, b — geschachtelter Spulenkörper für kapazitätsarme Wicklung

Bild 47
Einfache Spulenwickelmaschine für Transformatorwicklungen



2 Luftspalte hat. Für einen errechneten Luftspalt darf daher nur eine Isolierstoffzwischenlage von der halben Luftspaltlänge verwendet werden.
Die Wicklungen eines Transformators werden auf einen Spulenkörper aus Preßpappe oder *Pertinax* aufgebracht (Bild 46). Dabei benutzt man eine einfache, entweder durch Handkurbel oder Handbohrmaschine angetriebene Wickelvorrichtung (Bild 47). Die Wicklung wird lagenweise aufgebracht. Je nach dem zu erwartenden Spannungspotential ordnet man nach jeder einzelnen, nach jeder zweiten oder nach mehreren Lagen Papier- oder Ölleinenisolationen an. Werden dünne Drahtstärken verarbeitet, bei denen die Gefahr des Abreißens der Wicklungsenden besteht, so erfolgt ein Anlöten stärkeren Kupferlackdrahtes oder umsponnener Kupferlitze, die dann als Wicklungsende herausgeführt wird (Bild 48). Der Spulenkörper ist etwas kleiner als die vorhandenen Fenstermaße auszuführen, weil man dadurch ein leichteres Stopfen des Eisenkerns erreicht.

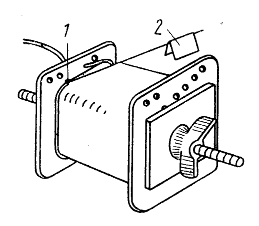


Bild 48
Dünnere Drähte werden durch Anlöten einer stärkeren Litze (1) herausgeführt. Die Lötstelle wird mit einem Isolierstreifen (2) abgedeckt

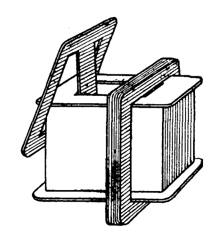


Bild 49
Stopfen eines Spulenkörpers mit Transformatorblechen. Ohne Luftspalt wird wechselseitig und mit Luftspalt einseitig gestopft

Ist die Primärwicklung auf den Spulenkörper aufgebracht, dann folgen die Sekundärwicklungen, wobei die Heizwicklungen außen angeordnet werden. Bei Ausgangsübertragern unterteilt man die einzelnen Wicklungen und wickelt sie abwechselnd. Dadurch wird die Streuung herabgesetzt, was sich in einer Erweiterung des Frequenzbereiches nach höheren Frequenzen bemerkbar macht. Sobald ein Gleichstrom durch eine Übertragerwicklung fließt, muß zum Vermeiden einer Gleichstromvormagnetisierung, die die Übertragungseigenschaften herabsetzt, ein Luftspalt vorgesehen werden. Bei Ausgangsübertragern für Gegentaktschaltungen ist das nicht erforderlich, da sich die magnetischen Erregungen durch die beiden Anodenströme gegenseitig aufheben. Achtung aber bei Übertragern, die zur Modulation verwendet werden, denn in diesem Fall fließt z. B. der Anodenstrom der PA-Röhre durch die Sekundärwicklung.

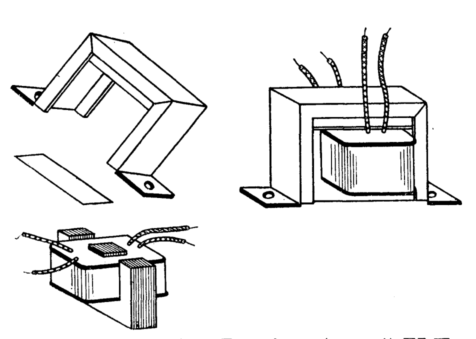
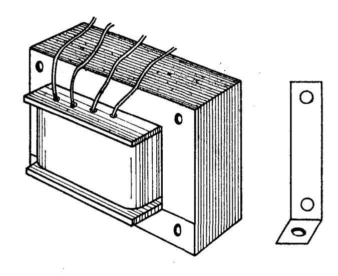


Bild 50 Aufbau eines Transformators mit EI-Kern

Bild 51
Befestigung eines Transformatorkernes mit Hilfe von 4 Eisenblechwinkeln



Ist der Eisenkern des Transformators fertig gestopft (Bild 49), so wird mit Hilfe der Befestigungswinkel und mit 2 bzw. 4 durch Bohrungen des Eisenkernes führenden Schrauben der Eisenkern fest zusammengefügt (Bild 50 und 51).

6. Wie erfolgt die Montage funktechnischer Geräte

Sind die mechanischen Arbeiten an Chassis und Gehäuse beendet, dann erfolgt die Montage der einzelnen größeren Bauelemente. Dabei ist einiges zu beachten. Auch eventuell abzuschirmende Bauelemente oder Röhrenelektroden, die eine schädliche Einflußnahme auf die Schaltung erwarten lassen, sind besonders zu behandeln.

6.1. Befestigen der Bauelemente

Grundsätzlich sollte man die Anschlüsse der Bauelemente vor dem Einbau verzinnen. Das gilt für alle Bauelemente, bei denen Leitungsdrähte der Verdrahtung angelötet werden müssen (vor allem Röhrensockelfedern, Lötösen, Spulenanschlüsse usw.). Durch diese Maßnahme wird sehr viel Mehrarbeit vermieden, da es bei eingebauten Bauelementen nicht immer gelingt, die zu lötende Stelle einwandfrei zu säubern. (Zu lötende Metallflächen werden mit einem Glashaarpinsel gereinigt.) Sind die Bauelemente einwandfrei verzinnt, so kann der Einbau erfolgen.

Die Bauelemente werden in der Regel mit Schrauben und Muttern befestigt. Für kleinere Bauelemente genügen Schrauben mit 3-mm-Gewinde. Größere und schwerere Bauelemente, z. B. Transformatoren, erfordern entsprechend stärkere Schrauben. Sollen Bauelemente unverrückbar festliegen, so legt man unter die Mutter eine gezahnte Scheibe. Um ein Zerspringen der keramischen Bauteile beim Anziehen der Schraube zu vermeiden, wird auf beiden Seiten des Durchgangsloches je 1 Papp- oder Hartpapierscheibe angebracht (Bild 52).

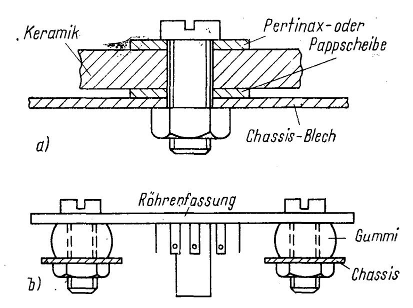


Bild 52 Befestigen von Bauteilen; a — keramische Bauteile erhalten beidseitig eine weichere Zwischenlage, damit beim Anziehen der Schraubverbindung der keramische Bauteil nicht zerspringt, b — durch Gummilagerung federnde Röhrenfassung, um ein Klingen bei Erschütterungen zu vermeiden

Muß zwischen Bauelement und Chassis eine metallische Verbindung bestehen, z. B. bei Potentiometern usw., dann sollte darauf geachtet werden, daß die beiden aufeinanderliegenden Metallflächen sauber sind.

Besonderes Augenmerk ist auf die Spannungsfestigkeit zu richten. Das gilt nicht nur für Kondensatoren, die entsprechend der anliegenden Betriebsspannung dimensioniert sein müssen; auch bei anderen Bauelementen muß darauf geachtet werden, daß spannungführende Teile nicht zu nahe am Chassis oder an anderen metallischen Bauelementen liegen.

Unbedingte Vorsicht ist bei Allstromschaltungen geboten. Bekanntlich steht das Chassis bei dieser Schaltungsart mit einem Netzpol in direkter Verbindung. Es müssen also spezielle Maßnahmen zum Berührungsschutz getroffen werden. Die metallischen Teile sind auf jeden Fall gegen Berührung zu sichern. Das Chassis muß durch die Rückwand berührungssicher abgedeckt sein; die Madenschrauben der Drehknöpfe müssen durch eine Wachsschicht gegen Berühren gesichert werden. Alle Buchsen, die mit dem Chassis in direkter Verbindung stehen, erhalten einen Schutzkondensator, damit beim Anschluß einer Erdleitung kein Kurzschluß entsteht.

Einige Bauelemente sind isoliert zu befestigen. So muß z. B. bei der halbautomatischen Gittervorspannungserzeugung der Ladeelektrolytkondensator isoliert werden. Bei einigen Ausführungen von Hartpapierdrehkondensatoren ist die metallische Achse mit den Rotorplatten direkt verbunden. In Rückkopplungsschaltungen muß daher ein solcher Drehkondensator isoliert befestigt werden. Die Isolierung sämtlicher spannungführender Buchsen dürfte selbstverständlich sein. Des weiteren sind Skalenlampenfassungen in Allstromschaltungen isoliert zu befestigen, da sie im Serienheizkreis liegen.

6.2. Abschirmung bestimmter Bauelemente

Im Niederfrequenzbereich dienen Abschirmungen zum Vermeiden des Brummens. Daher werden vor allem hochohmige Eingänge abgeschirmt. Außerdem kann es manchmal notwendig sein, RC-Kombinationen, die am Steuergitter liegen, statisch abzuschirmen. Das Steuergitter ist für Brummeinstreuungen besonders empfindlich. Deshalb werden auch alle Leitungen, die zum Steuergitter einer Elektronenröhre führen, grundsätzlich abgeschirmt (Bild 53). Bauelemente, die stärkere Wechselfelder erzeugen, vor allem also Transformatoren, sind daher keinesfalls in unmittelbarer Nähe solcher Leitungen zu befestigen. Um Selbsterregung zu vermeiden, dürfen Eingangsschaltung und Ausgangsschaltung nicht miteinander koppeln. Werden diese Hinweise nicht beachtet, so ergeben sich laute Heultöne.

Die Gefahr der Selbsterregung besteht besonders im Hochfrequenzgebiet. Am anfälligsten dafür ist der Zwischenfrequenzteil, weil bei diesem alle Schwingkreise auf der gleichen

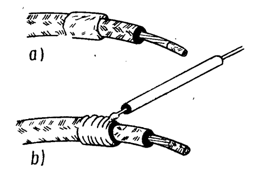
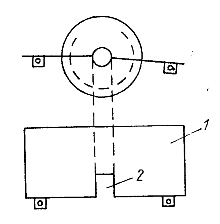


Bild 53
Bei abgeschirmten Leitungen wird erst das Kupfergeflecht verzinnt (a) und dann der Masseanschluß angelötet (b)

Bild 54
Abschirmung an einer Röhrenfassung für Miniaturröhren;
1 — Abschirmblech,
2 — Aussparung gemäß Röhrenfassung



Frequenz, der Zwischenfrequenz, arbeiten. Deshalb sind Zwischenfrequenzbandfilter grundsätzlich abgeschirmt. Da im Zwischenfrequenzverstärker am Steuergitter und an der Anode Schwingkreise mit gleicher Resonanzfrequenz liegen, muß man bei hartnäckigen Fällen am Röhrensockel zwischen dem Gitteranschluß und dem Anodenanschluß ein Abschirmblech einfügen (Bild 54). Das gleiche gilt für mehrkreisige Eingangsschaltungen, bei denen die Spulen unbedingt gegeneinander abzuschirmen sind.

In Abschnitt 3.5. wurde bereits einiges über die ungewollte Abstrahlung bei Hochfrequenz gesagt. Um jede nicht beabsichtigte HF-Ausstrahlung zu vermeiden, müssen Geräte, wie z. B. Prüfgeneratoren usw., in dichte Metallgehäuse eingebaut werden. Die Störschutzbestimmungen der *Deutschen Post* sind in dieser Hinsicht sehr streng. Das trifft auch zu für Oszillatorausstrahlungen bei Superhetempfängern, insbesondere im UKW-Bereich. Diese Ausstrahlungen stören vor allem den Fernsehempfang. Eine der hartnäckigsten Störquellen stellt in dieser Beziehung die Audionschaltung mit Pendelrückkopplung dar, die deshalb nicht mehr statthaft ist.

7. Wie erfolgt die Verdrahtung funktechnischer Geräte

Der Anfänger wird in den meisten Fällen zur Verdrahtung (Bild 55) den entsprechenden Plan zu Hilfe nehmen, bis er gelernt hat, aus dem Schaltbild die angegebenen Verbindungen selbständig am Eigenbaugerät auszuführen.

7.1. Verdrahtungsplan

Im Verdrahtungsplan sind entsprechend dem montierten Chassis alle notwendigen Verbindungen eingezeichnet (Bild 56). Der Anfänger erhält also mit dem Verdrahtungsplan den bereits in die Konstruktion übersetzten Schaltplan. Er hat lediglich die Schaltdrähte in der vorgezeichneten Weise zu verlegen und anzulöten. Viele Verfasser von Bauanleitungen lehnen den Verdrahtungsplan ab, da er zu gedankenlosem Nachbau des Gerätes führe. Es trifft auch zu, daß der Newcomer oft ohne jede eigene Überlegung einfach die Vorlage übernimmt. Klar ist aber, daß der Verdrahtungsplan bereits vor dem in symbolhafter Weise ausgeführten Schaltplan vorhanden war. Der Autor dieser Broschüre vertritt die Meinung, der Anfänger sollte unbesorgt die ersten 2 bis 3 selbstgebauten Geräte mit Hilfe eines Verdrahtungsplanes aufbauen und ver-

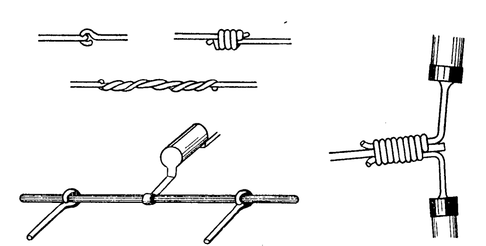


Bild 55 Verschiedene Ausführungen von Lötverbindungen

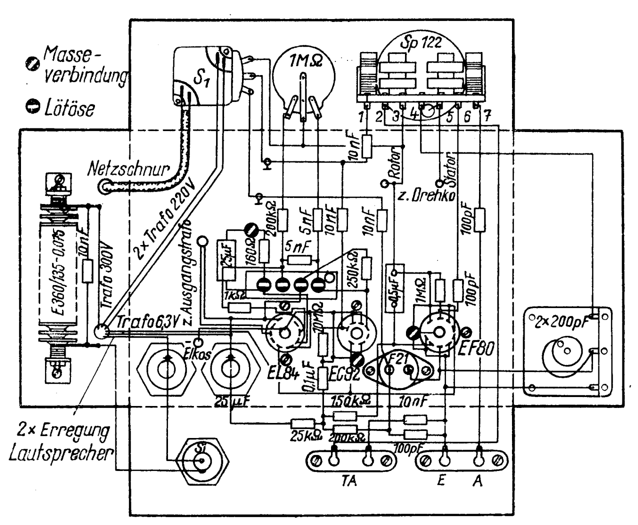


Bild 56 Verdrahtungsplan eines einfachen Einkreisempfängers nach Bild 16 bzw. Bild 19

drahten. Allerdings wird empfohlen, dabei ständig Schaltplan und Verdrahtungsplan zu vergleichen, damit er lernt, das Schaltbild in die Konstruktion umzusetzen.

7.2. Ausführung der Verdrahtung

Als Grundsatz ist zu merken, daß kürzeste Leitungsführung stets vor Schönheit geht. Geradlinige und in Kabelbäumen untergebrachte Leitungsführung sieht zwar sehr gut aus, kann aber zum völligen Versagen des Gerätes führen. Gleichstromleitungen dürfen ohne weiteres in Kabelbäumen zusammengefaßt werden, ebenfalls z. B. die Verdrahtung eines Netzgerätes. Verstärker- und Empfängerschaltungen dagegen müssen eine möglichst kurze Leitungsführung aufweisen. Heizleitungen werden, um Brummausstrahlungen zu mindern, grundsätzlich verdrillt.

Zur Verdrahtung wird Schaltdraht verwendet. Dieser besteht aus einer von Kunststoff umgebenen Kupferseele. Der Durchmesser der Kupferseele beträgt 0,7 bzw. 0,5 mm.

Nur bei größeren Strömen, z. B. bei Heizleitungen, wird Schaltdraht von 1 mm Durchmesser verwendet. Für Erdleitungen benutzt man blanken oder verzinnten Kupferdraht von 1 mm Durchmesser. Sollen Verbindungsleitungen flexibel ausgeführt werden, so ist Schaltdraht in den meisten Fällen zu steif; es wird daher besser kunststoffumhüllte oder baumwollumsponnene Litze aus dünnen, blanken Kupferdrähten verwendet. Um Verluste bei der Verdrahtung von Schwingkreisen klein zu halten, benutzt man vor allem bei höheren Frequenzen versilberten Kupferdraht. Für Netzanschlüsse nimmt man meist 2adrige Litze mit Gummimantel oder flacher Kunststoffumhüllung.

Beim Abisolieren des Schaltdrahtes oder eines Litzenkabels sind einige Hinweise von Bedeutung. Verwendet man ein Messer, z. B. das Taschenmesser, so ist darauf zu achten, daß der Kupferdraht nicht angeschnitten wird (Bild 57), denn eine dabei entstehende Kerbe führt beim Biegen zum Bruch. Besser eignet sich eine Abisolierzange, die beim richtigen Einstellen den Kupferdraht nicht verletzt. Kunststoffschaltdrähte können auch durch Wärmeeinwirkung abisoliert werden (Bild 58). Manche Lötkolben haben zu diesem Zweck am Kolben einen Blechwinkel mit Kerbe: Wird beim heißen Lötkolben der Schaltdraht in der Kerbe gedreht, so schmilzt an dieser Stelle der Kunststoff und kann abgestreift werden. Ist der Schaltdraht nicht verzinnt, so muß man den Kupferdraht unbedingt vor dem Anlöten säubern und verzinnen. Durch

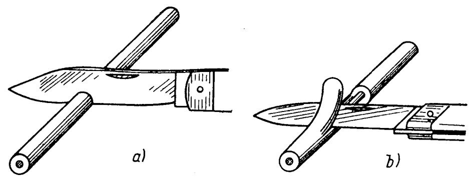
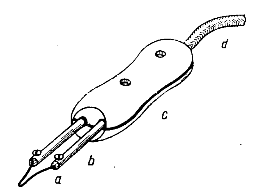


Bild 57 Abisolieren von kunststoffisoliertem Schaltdraht mit dem Taschenmesser

Bild 58
Elektrische Abisoliereinrichtung; a — Widerstandsdraht, der erwärmt wird, b — Messingbolzen, c — Heft, d — Kabel zur Transformatorwicklung (etwa 0,5 bis 2 V)



längere Lagerzeit erhält der Kupferdraht eine Oxydationsschicht, die bei direktem Einlöten zu den bekannten kalten Lötstellen führt.

Besondere Schwierigkeiten bereitet das Abisolieren von HF-Litzen und das anschließende Verzinnen. HF-Litze besteht aus einer Anzahl sehr dünner Kupferlackdrähte, die nicht mehr einzeln blank gemacht werden können. Es ist dabei zu beachten, daß bereits **ein** nicht erfaßter Draht den Gütewert der HF-Spule wesentlich mindern kann. Beim Verzinnen sind also unbedingt sämtliche Kupferdrähte zu erfassen. Da diese dünnen Drähte mit mechanischen Mitteln nicht mehr blank gemacht werden können, hilft nur ein Abbrennen der Lackschicht. Dazu wird vorsichtig die Baumwollumspinnung entfernt, damit beim Abbrennen nicht rußartige Rückstände am Kupfer verbleiben, die ein Verzinnen erschweren. Dann werden die Kupferdrähte bis zum Glühen in eine Brennspiritusflamme gehalten. Noch im glühenden Zustand taucht man sie in Brennspiritus. Nach dieser Behandlung läßt sich die HF-Litze bequem mit Hilfe von Kolophonium verzinnen. Sollte die Kupferlitze nach dem Glühen nicht blank sein, so lassen sich die verbrannten Lackreste ohne weiteres mit feinem Schmirgelleinen entfernen.

Schwierigkeiten bereitet mitunter das Verdrahten der Erdpunkte (Bild 59). Auf jeden Fall sind die Erdpunkte nicht wahllos an das Chassis zu führen, da sonst undefinierbare Erdungsverhältnisse auftreten. Im Bereich der niederen Frequenzen genügt es, die Erdpunkte auf einer Erdleitung zu erfassen und diese an einem Punkt mit dem Chassis zu verbinden. Bei höheren Frequenzen, vor allem im KW- und UKW-Gebiet, ist das nicht mehr zulässig. In diesen Frequenzbereichen werden

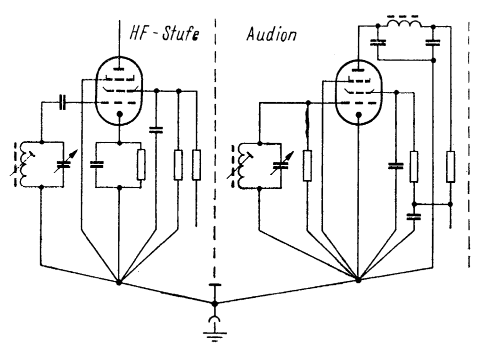


Bild 59 Zusammenfassung der Erdpunkte für die einzelnen Röhrenstufen

die zu einer Röhrenstufe direkt gehörenden Erdpunkte zusammengefaßt und unmittelbar an der Röhrenfassung an das Chassis geführt. Dadurch vermeidet man Verkopplungen zwischen den einzelnen Röhrenstufen.

Während bei Röhrenfassungen für Röhren mit Röhrenfüßen aus Preßstoff unbedenklich kleinere Bauelemente, wie Widerstände und Kondensatoren, fest angelötet werden können, ist bei der Verdrahtung von Röhrenfassungen für Miniaturröhren Vorsicht geboten. Miniaturröhren haben bekanntlich nur einen Preßglasteller mit den Sockelstiften. Eine Beanspruchung dieser Sockelstifte durch Querkräfte kann zu Glassprüngen im Preßglasteller führen. Damit hat eine solche Röhre „ausgedient". Die Sockelfedern einer Miniaturröhrenfassung dürfen also nicht in eine starre Verdrahtung einbezogen werden, sondern müssen beweglich bleiben. Man verwende daher vorsichtshalber dünnere Schaltdrähte.

7.3. Verdrahten von Lötösenplatten

Lötösenplatten kann man bereits vor dem Einbau verdrahten (Bild 60). Diese Verdrahtung erfolgt entweder unter den Bauelementen oder besser unter der Lötösenplatte. Zu diesem

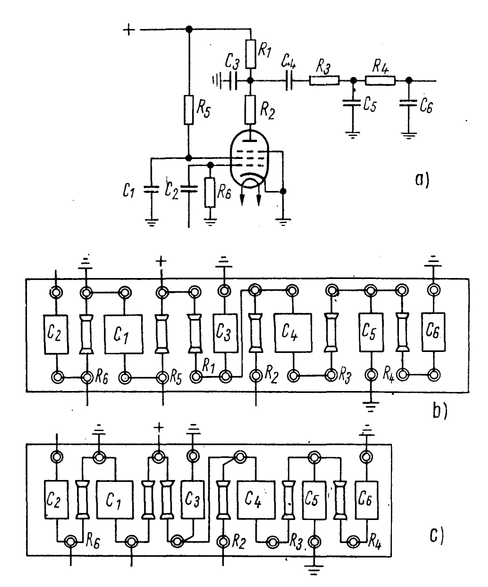


Bild 60 Verdrahten von Lötösenplatten; a — Schaltung, b und c — ausgeführte Verdrahtung

Zweck fertigt man sich einen Schaltungsauszug an, damit die Reihenfolge der auf der Lötösenplatte anzuordnenden Bauelemente festgelegt werden kann. Es dürfen dabei nur wenige Kurzschlüsse benachbarter Lötösen und einige Verbindungen zu schräg gegenüberliegenden Lötösen vorkommen. Außerdem sollen die Anschlüsse zu den Röhrenelektroden auf der einen Seite, die Spannungs- und Erdzuführungen auf der anderen Seite liegen. Die Lötösenplatte wird dann möglichst nahe der Röhrenfassung angeordnet, damit kurze Zuleitungen entstehen (Bild 61).

7.4. Abbinden der Verdrahtung

Wie bereits gesagt, kann man alle Leitungen, die der Fachsprache nach „kalt" sind, zu einem Kabelbaum vereinigen.

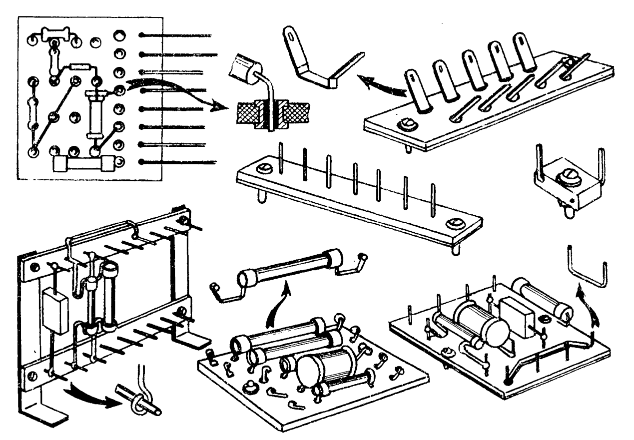


Bild 61 Verdrahten von Lötösenplatten

Dazu gehören vor allem Verbindungsdrähte des Netzteiles, Erdleitungen und Gleichstromleitungen. Der Kabelbaum erhält seinen festen Zusammenhalt durch ein schleifenartiges Binden mit gewachster Hanfschnur (Bild 62). Beim Abbinden des Kabelbaumes wird an seinem dicken Ende begonnen, nachdem die Hanfschnur fest mit einer Umschlingung angeknotet ist. In kurzen Abständen werden laufend weitere Umschlingungen vorgenommen. Dabei kann man die einzelne Schlinge als Einfachschlinge oder als Doppelschlinge ausführen. Jede Schlinge wird einzeln festgezogen und bis zur Fertigstellung der nächsten festgehalten. Weisen alle Schlingen

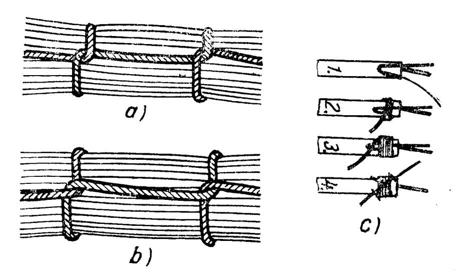


Bild 62 Abbinden von Kabeln; a — richtiger Abbund an Kabelbäumen, b — falscher Abbund an Kabelbäumen, c — Abbinden von Kabelenden

den gleichen Abstand auf, so erhält der Kabelbaum ein gefälliges Aussehen. Bei längeren Kabelbäumen ist es manchmal erforderlich, diese mit Rohrschellen am Chassis zu befestigen. Werden bei der Verdrahtung 1- oder 2polige Kabel mit Baumwollumspinnung verwendet, so sind die Baumwollenden abzubinden. Die Baumwollumspinnung liegt meist locker auf und würde sich sonst verschieben und ausfransen. Zum Abbinden wird dünne gewachste Hanfschnur benutzt. Die Baumwollumspinnung schneidet man an der Abbindestelle sauber ab, legt ein Ende der Hanfschnur doppelt, und zwar so, daß eine Öse bleibt, und wickelt dann die Hanfschnur nach vorn fest auf. Das Ende muß straff durch die Öse geführt werden. Mit einer Zange faßt man dann das untergewickelte Ende und zieht das andere Ende unter die Wicklung. Die überstehenden Enden sind abzuschneiden. Beide Enden liegen jetzt fest unter der Wicklung und können sich nicht lösen.

7.5. Verdrahtung mittels Leiterplatte

Zum Entwerfen von Leiterplatten gehören einige Erfahrungen, über die der Anfänger unter den Elektronikamateuren meist noch nicht verfügt. Es sollen deshalb einfache Methoden dargestellt werden, die auch der Anfänger benutzen kann, um elektronische Schaltungen auf Leiterplatten aufzubauen.
Für eine Leiterplatte wird das Grundrastermaß 2,5 mm vorgeschrieben. Das bedeutet, daß alle Bohrungen in den Schnittpunkten eines Gitternetzes liegen, bei dem die einzelnen Linien einen Abstand von 2,5 mm haben. Die Industrie wendet dieses Grundrastermaß an, und alle für gedruckte Schaltungen kontaktierten Bauelemente sind ebenfalls dafür ausgelegt. Für den Elektronikamateur, der oft noch herkömmliche Bauelemente aus seinem Vorrat zur Bestückung der Leiterplatte verwendet, ist das Rastermaß 5 mm günstiger. Nach *TGL* beträgt der Lochdurchmesser 1,3 mm, in der Amateurpraxis genügt meist schon ein Lochdurchmesser von 1,0 mm.
Die Schaltung, für die eine Leiterplatte entworfen werden soll, muß man selbstverständlich vorher erproben. Nachfolgende

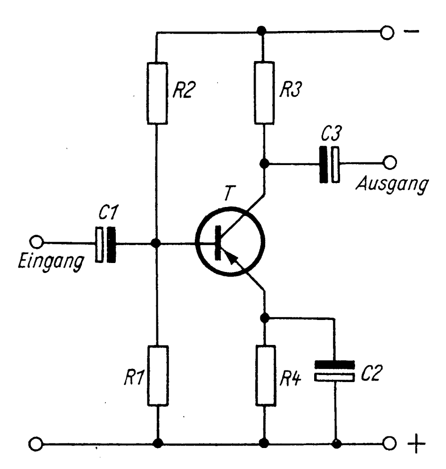


Bild 63 Schaltung einer transistorisierten NF-Verstärkerstufe

Änderungen lassen sich meist auf der Leiterplatte nicht mehr verwirklichen, so daß man dann eine neue Leiterplatte entwerfen muß. Für den Entwurf benutzt man entweder kariertes Papier (mit 5-mm-Raster) oder Millimeterpapier. Dazu stellt man alle Bauelemente zusammen, die für die aufzubauende Schaltung verwendet werden sollen. Damit hat man dann auch die Lochabstände, durch die später die Bauelementeanschlüsse gesteckt werden. Außerdem kann man eine günstige Anordnung der Bauelemente auf dem Papier ausprobieren.

Bild 63 zeigt die Schaltung für eine transistorisierte NF-Verstärkerstufe. Einen Entwurf mit nur einfachen Trennlinien zeigt Bild 64a. Dabei käme man ohne den Ätzvorgang aus, da sich diese Trennlinien auch mechanisch in die Kupferschicht der Leiterplatte einbringen lassen. Mit einer Tischbohrmaschine kann man bei entsprechender Einstellung diese Linien fräsen. Auch ein scharfes Messer oder ein Stichel genügt für diese Arbeit. Will man die Trennlinien ätzen, so wird die Platte erwärmt und Wachs aufgebracht. Nach dem Erkalten werden in die Wachsschicht die Trennlinien eingeritzt, die man vorher von der Vorlage auf die Kupferschicht gepaust hat.

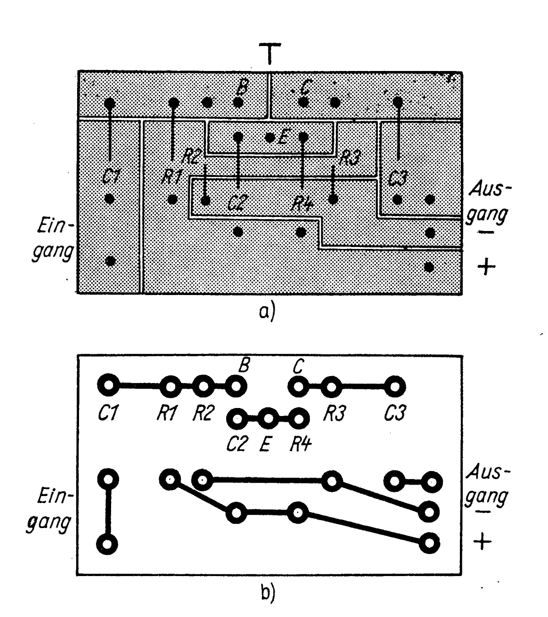


Bild 64 Leiterplattenvorlage für die Schaltung nach Bild 63; a — einfache Ritztechnik, b — gezeichnete Leitungsführung

Eine andere Variante derselben Leiterplatte zeigt Bild 64b. Von der Vorlage werden die Löcher leicht durchgekörnt. Dann schlägt man mit dem Nullenzirkel Kreise von 3 bis 4 mm Durchmesser. Als Tusche eignet sich *Heinz*-Tusche in der Farbe scharlachrot. Anschließend werden mit dem Lineal und einer Röhrchenfeder die 2 bis 3 mm breiten Verbindungslinien gezogen und die Kreise mit Tusche ausgefüllt. Damit die Tusche gut haftet, wird die Kupferseite der Leiterplatte mit *ATA*-fein gesäubert und mit Klebeband auf einem größeren Stück Pappe befestigt. Vor dem Schreiben wischt man die Kupferseite nochmals mit Benzin ab.

Bei HF-Schaltungen ist es günstiger, die einzelnen Leiterzüge in die Massefläche einzubetten. Bild 65 zeigt die Schaltung eines transistorisierten Quarzoszillators, während Bild 66 die

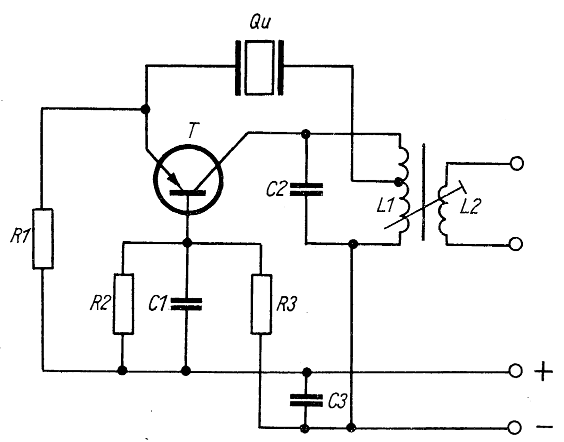


Bild 65 Schaltung eines transistorisierten Quarzoszillators

entsprechende Leiterplatte für diese Schaltung darstellt. Die Trennlinien können in Wachs geritzt werden, oder man muß die Flächen mit Tusche bzw. einer anderen Farbe abdecken.

Zum Ätzen verwendet man billiges Eisen-III-Chlorid, das man in Wasser auflöst (etwa 450 g in 1 l). Die auf der Pappe befestigte Leiterplatte stellt man schräg in eine Fotoschale mit Ätzlösung. Mit einem Pinsel (ohne Metallteile) oder einem Wattebausch in einer Plasteklammer bringt man die Ätzlösung ständig auf die Leiterplatte, bis das gewünschte Muster fertig ist. Anschließend wird die Leiterplatte in fließendem Wasser

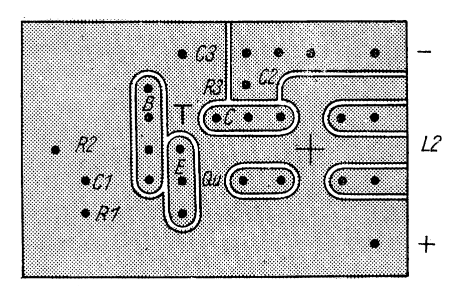


Bild 66 Leiterplattenvorlage für die Schaltung nach Bild 65

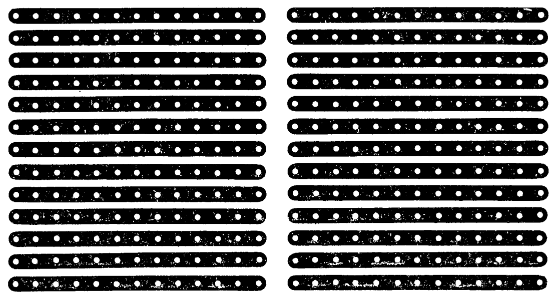


Bild 67 Universalleiterplatte mit 5-mm-Raster (Größe 140 × 70 mm)

gespült und mit *ATA*-fein oder einer Verdünnung die Abdeckschicht entfernt. Dann bestreicht man die Leitungsführung sofort mit in Spiritus gelöstem Kolophonium, damit eine gute Lötfähigkeit erhalten bleibt. Nachdem die Löcher gebohrt sind (1,0 bis 1,3 mm), kann die Leiterplatte bestückt werden.

Bei den Ätzarbeiten ist Vorsicht geboten, da Hautschäden entstehen können und Flecken sich nicht entfernen lassen. Die Dämpfe hinterlassen einen seifenähnlichen Geschmack im Gaumen. Benutzt man als Ätzmittel Salpetersäure, dann darf nur im Freien geätzt werden, da die entstehenden Gase giftig sind.

Für den Amateur, der die Selbstherstellung von Leiterplatten scheut, zeigt Bild 67 eine Universalleiterplatte, die sich vielseitig anwenden läßt. Diese ungelochte Leiterplatte kann bezogen werden von *D. Borkmann*, 1195 Berlin, Erich-Lodemann-Straße 47 (Bezeichnung: Universalleiterplatte mit 5-mm-Raster). Die Abmessungen betragen 140 × 70 mm, es sind 2 gleichartige Leitersysteme nebeneinander angeordnet. Für kleinere Schaltungen kann man die Leiterplatte trennen. Reichen für eine Schaltung die vorhandenen 13 Leiterbahnen nicht aus, so lassen sich nach Bedarf die einzelnen Leiterbahnen einmal oder mehrmals trennen. Dafür genügt schon ein scharfes, spitzes Messer, mit dem man eine etwa 1 mm breite Trennlinie einkratzt. Die Anordnung der einzelnen Bauelemente kann liegend oder auch stehend erfolgen.

8. Wichtige Tabellen

8.1. Farbkennzeichnung von Kleinstwiderständen

Kleinstwiderstände haben keinen aufgedruckten Widerstandswert, sondern sind entsprechend der *IEC*-Norm durch eine

Farbe	erster Ring oder Punkt gleich erster Ziffer	zweiter Ring oder Punkt gleich zweiter Ziffer	dritter Ring oder Punkt		vierter Ring oder Punkt gleich Toleranz	fünfter Ring bei Kondensatoren gleich Betriebs-Spannung in V
			Zahl der Nullen	Bereich des Wertes		
schwarz	0	0		1 – 99 Ω o. pF		
braun	1	1	0	100 – 990 Ω o. pF	± 1 %	100
rot	2	2	00	1 – 9,9 kΩ o. nF	± 2 %	200
orange	3	3	000	10 – 99 kΩ o. nF		300
gelb	4	4	0 000	100 – 990 kΩ o. nF		400
grün	5	5	00 000	1 – 9,9 MΩ o. µF		500
blau	6	6	000 000	10 – 99 MΩ o. µF		600
violett	7	7				700
grau	8	8				800
weiß	9	9				900
gold			· 0,1	0,1 – 9,9 Ω o. pF	± 5 %	1 000
silber			· 0,01	0,01 – 0,99 Ω o. pF	± 10 %	2 000
Keine Kennzeichg.					± 20 %	500

schwarz blau grün rot

z. B.: 0 6 00 000 ± 2 % = 600 000 Ω ± 2 %

Bild 68 Farbcode zur Kennzeichnung von Kleinstwiderständen

Anzahl Farbringe gekennzeichnet. Während die beiden 1. Farbringe die beiden 1. Ziffern des Widerstandswertes angeben, bezeichnet der 3. Farbring die Zahl der Nullen und der 4. den Toleranzwert des Widerstandes. Bild 68 zeigt die Farbtafel nach der *IEC*-Norm.

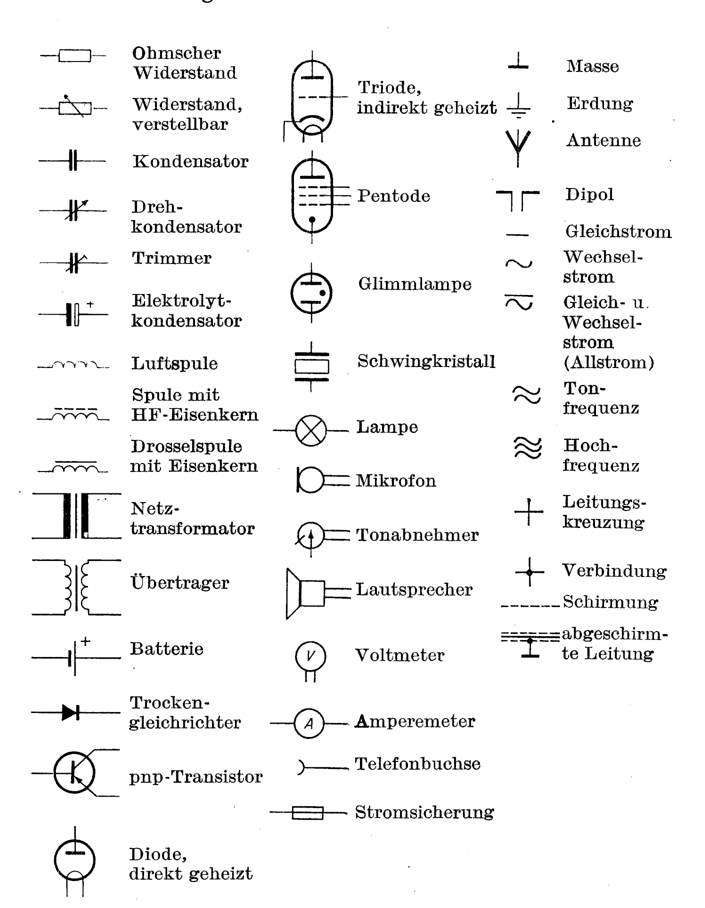
Ältere Widerstands-Ausführungsformen hatten für die Toleranz eine andere Kennzeichnung:

1 Goldpunkt	± 1 Prozent
2 Goldpunkte	± 2 Prozent
1 Silberpunkt	± 5 Prozent
2 Silberpunkte	± 10 Prozent
ohne Gold- bzw. Silberpunkt	± 20 Prozent

8.2. Dezimale und Vielfache

p	= Pico	$= 10^{-12}$	= 0,000 000 000 001
n	= Nano	$= 10^{-9}$	= 0,000 000 001
μ	= Mikro	$= 10^{-6}$	= 0,000 001
m	= Milli	$= 10^{-3}$	= 0,001
c	= Zenti	$= 10^{-2}$	= 0,01
d	= Dezi	$= 10^{-1}$	= 0,1
D	= Deka	$= 10^{1}$	= 10
H	= Hekto	$= 10^{2}$	= 100
K	= Kilo	$= 10^{3}$	= 1 000
M	= Mega	$= 10^{6}$	= 1 000 000
G	= Giga	$= 10^{9}$	= 1 000 000 000
T	= Tera	$= 10^{12}$	= 1 000 000 000 000

8.3. Die wichtigsten Schaltzeichen



8.4. Daten von Kupferlackdraht

Nenndurchmesser in mm	Durchmesser für CuL in mm	Nennquerschnitt in mm²	Höchststrom für I = 2,55 A in A	Widerstand je Meter in Ω	Windungszahl je cm² Wdg.
0,03	0,045	0,0007	0,002	24,82	45 000
0,04	0,055	0,0013	0,003	13,96	25 000
0,05	0,062	0,0020	0,005	8,94	20 000
0,06	0,075	0,0028	0,007	6,21	15 000
0,07	0,085	0,0039	0,010	4,56	11 000
0,08	0,095	0,0050	0,013	3,49	9 000
0,09	0,108	0,0064	0,016	2,76	7 000
0,10	0,115	0,0079	0,020	2,23	6 000
0,11	0,13	0,0095	0,024	1,84	5 000
0,12	0,14	0,0113	0,029	1,55	4 400
0,13	0,15	0,0133	0,034	1,32	3 600
0,14	0,16	0,0154	0,039	1,14	3 200
0,15	0,17	0,0177	0,045	0,99	2 800
0,16	0,18	0,0211	0,051	0,87	2 500
0,17	0,19	0,0227	0,058	0,773	2 250
0,18	0,20	0,0254	0,065	0,689	2 000
0,19	0,21	0,0284	0,072	0,619	1 800
0,20	0,22	0,0314	0,080	0,557	1 650
0,21	0,23	0,0346	0,088	0,507	1 500
0,22	0,24	0,038	0,097	0,460	1 400
0,23	0,25	0,042	0,106	0,422	1 300
0,24	0,26	0,045	0,116	0,388	1 250
0,25	0,27	0,049	0,125	0,357	1 100
0,26	0,285	0,053	0,135	0,330	1 000
0,27	0,295	0,057	0,145	0,306	950
0,28	0,305	0,062	0,157	0,285	870
0,29	0,315	0,066	0,168	0,266	800
0,30	0,33	0,071	0,180	0,248	770
0,31	0,34	0,075	0,192	0,232	720
0,32	0,35	0,080	0,205	0,218	690
0,33	0,36	0,086	0,218	0,2051	650
0,34	0,37	0,091	0,231	0,1932	600
0,35	0,38	0,096	0,245	0,1824	580
0,36	0,39	0,102	0,259	0,1724	540
0,37	0,40	0,108	0,274	0,1632	520

Nenn-durch-messer in mm	Durch-messer für CuL in mm	Nenn-quer-schnitt in mm²	Höchst-strom für I ≐ 2,55 A in A	Wider-stand je Meter in Ω	Windungs-zahl je cm² Wdg.
0,38	0,41	0,113	0,289	0,1547	500
0,39	0,42	0,120	0,304	0,1469	475
0,40	0,43	0,126	0,320	0,1396	450
0,42	0,45	0,139	0,353	0,1266	420
0,43	0,46	0,145	0,370	0,1209	390
0,45	0,48	0,159	0,405	0,1103	370
0,47	0,50	0,173	0,442	0,1012	330
0,48	0,51	0,181	0,461	0,0970	320
0,50	0,54	0,196	0,500	0,0894	300
0,55	0,59	0,238	0,605	0,0738	250
0,60	0,64	0,283	0,720	0,0621	210
0,65	0,69	0,334	0,845	0,0562	180
0,70	0,74	0,385	0,980	0,0455	160
0,75	0,79	0,444	1,125	0,0395	140
0,80	0,84	0,504	1,280	0,0348	120
0,85	0,90	0,570	1,445	0,0318	110
0,90	0,93	0,636	1,620	0,0275	100
0,95	1,00	0,711	1,805	0,0246	90
1,00	1,05	0,786	2,000	0,0223	83
1,10	1,16	0,951	2,420	0,0184	67
1,20	1,26	1,131	2,880	0,0155	55
1,30	1,36	1,329	3,380	0,0132	45
1,40	1,46	1,540	3,920	0,0114	40
1,50	1,56	1,770	4,500	0,0099	33
1,60	1,66	2,015	5,120	0,0087	28
1,70	1,76	2,275	5,780	0,0077	24
1,75	1,81	2,365	6,125	0,0073	20
1,80	1,86	2,545	6,480	0,0069	17
1,90	1,96	2,840	7,220	0,0062	14
2,00	2,07	3,142	8,000	0,0056	12
2,20	2,27	3,800	9,500	0,0046	10
2,50	2,57	4,910	12,300	0,0036	7

8.5. Die wichtigsten Daten von Eisenkernen für Transformatoren

a) Blechpakete mit M-Schnitt

		M 42	M 55	M 65	M 74	M 85a	M 85b	M 102a	M 102b
maximale Leistung	VA	4	12	25	50	70	100	120	180
Blechbreite, -höhe	mm	42	55	65	74	85	85	102	102
Paketstärke	mm	15	20	27	32	32	45	35	52
Eisenquerschnitt	cm²	1,8	3,4	5,4	7,4	9,4	13	12	18
Eisenweglänge	cm	10,2	13,1	15,5	17,6	19,7	19,7	23,8	23,8
Zungenbreite	mm	12	17	20	23	29	29	34	34
ausnutzbare Fensterhöhe	mm	7	8,5	10	12	11	11	13,5	13,5
ausnutzbare Fensterbreite	mm	26,4	33,5	37	44	49	49	61	61
Windungslänge, innen	cm	7	9,3	11	12,8	14	15,4	16	19,3
Windungslänge, Mitte	cm	9,2	12	14,4	16,5	17	18,4	19,8	23,2
Windungslänge, außen	cm	11,1	13,8	16,7	19,8	20,3	21,7	23,5	27,1
Fensterquerschnitt (brutto)	cm²	2,7	4	5,6	7,1	7,5	7,5	11,5	11,5
Wirkungsgrad	Prozent	60	70	77	83	84	85	87	89
Blechzahl bei 0,35 mm	Stück	41	54	72	86	86	118	95	138
Blechzahl bei 0,5 mm	Stück	26	34	46	55	55	78	60	90
Spannung je Windung	mV/Wdg.	45	88	134	184	232	320	298	440
Windungen je Volt	Wdg./V	22,1	11,4	7,5	5,4	4,3	3,1	3,3	2,3
Windungszahl 220 V primär	Wdg./220 V	4900	2600	1650	1200	960	685	730	500
Windungszahl 220 V sekundär	Wdg./220 V	6400	2980	1790	1280	1010	715	770	510
Windungszahl 6,3 V sekundär	Wdg./6,3 V	190	87	52	37	29	20	22	15

b) Blechpakete mit EI-Schnitt

		EI 48	EI 54	EI 60	EI 66	EI 78	EI 84a	EI 84b	EI 106a	EI 106b	EI 130a	EI 130b
maximale Leistung	VA	5	10	15	20	35	50	75	100	140	230	280
Blechhöhe (mit Joch)	mm	40	45	50	55	65	70	70	88	88	105	105
Blechbreite	mm	48	54	60	66	78	84	84	105	105	130	130
Paketstärke	mm	16	18	20	22	26	28	42	35	45	35	45
Eisenquerschnitt	cm^2	2,56	3,24	4	4,8	6,8	7,8	11,8	12,3	15,8	12,3	15,8
Eisenweglänge	cm	9,6	10,8	12	13,2	15,6	16,8	16,8	21	21	27	27
Zungenbreite	mm	16	18	20	22	26	28	28	35	35	35	35
ausnutzbare Fensterhöhe	mm	21,5	24,5	27	30	35	38	38	49	49	66	66
ausnutzbare Fensterbreite	mm	6	7	8	9	10,5	11,5	11,5	21	21	27	27
Windungslg., innen	cm	8	9,3	10,3	11,3	13,2	14,1	17,1	17,6	19,9	20,2	22,2
Windungslg., Mitte	cm	9	10,3	11,4	12,5	14,7	15,9	18,9	21,7	23,5	23,9	25,9
Windungslg., außen	cm	10,1	11,2	12,5	13,8	16,3	17,6	20,6	25,1	27,3	27,7	29,7
Fensterquerschnitt (brutto)	cm^2	1,92	2,43	3	3,6	5,1	5,9	5,9	13,4	13,4	21	21
Wirkungsgrad	Prozent	65	68	72	75	78	81	83	85	87	90	91
Blechzahl bei 0,35 mm	Stück	43	49	54	60	70	75	109	95	118	95	118
Blechzahl bei 0,5 mm	Stück	27	31	34	37	44	48	75	60	78	61	78
Spannung je Wdg.	mV/Wdg.	57	74	92	110	156	180	275	284	365	284	365
Windungen je Volt	Wdg./V	17,5	13,6	10,9	9,1	6,5	5,6	3,7	3,5	2,7	3,5	2,7
Windungszahl 220 V primär	Wdg./220 V	3850	3000	2400	2000	1430	1250	815	770	595	770	595
Windungszahl 220 V sekundär	Wdg./220 V	4400	3400	2650	2200	1550	1350	865	800	610	800	610
Windungszahl 6,3 V sekundär	Wdg./6,3 V	125	100	75	64	45	37	24	22	17	22	17

86

